

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

CNT-BLU/CNT-FED 玻璃面板封裝之應力分析與設計

Stress Analysis and Design on the Packaging Process of

CNT-BLU/CNT-FED Glass Plates

研究生：黃麒禎

指導教授：洪景華 教授

中華民國九十五年六月

# CNT-BLU/CNT-FED 玻璃面板封裝之應力分析與設計

研究生：黃麒禎

指導教授：洪景華 教授

## 國立交通大學機械工程學系

### 摘要

奈米碳管場發射顯示器因其簡單的構造，與能夠大尺寸生產，使其具有相當的效益優勢，有機會成為平板顯示器未來市場主要產品。因此，掌握此大尺寸平面電視的先進技術，為研究之重要課題。在奈米碳管場發射顯示器封裝製程中，玻璃基板會隨溫度變化而產生熱應力，且常因應力過大而造成破裂，本研究即針對此問題進行研究。

本研究首先對影響裂片的原因進行了探討，並針對有限元素模擬時所需的材料性質進行了文獻、廠商資料搜尋以及真實材料試驗。接著以彈性的玻璃材料模型進行了初步的有限元素應力分析，針對熱膨脹係數、玻璃粉、抽氣管與真空對殘留應力的影響進行了討論。最後針對 Spacer 的部份進行最佳化設計的討論。

# Stress Analysis and Design on the Packaging Process of CNT-BLU/CNT-FED Glass Plates

Student : Chichen Huang

Adviser : Dr. Chinghua Hung

Department of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University

## ABSTRACT

There exist opportunities for carbon nano-tube field emission display (CNT-FED) to be major product on the large size flat panel TV market, because the structure of CNT-FED is simple and large size manufacturing is practicable. Therefore, it's important to obtain the advanced technique of CNT-FED. As the temperature changes, the thermal stresses appear on the glass plates during the packaging process of CNT-FED. The glass plate might be subjected to brittle fracture if the stress is too large. This research is thus aimed to overcome this problem occurred in the process.

First, the possible reasons of the fracture of plate were discussed, and the material properties that will be used in numerical analysis were collected by either surveying literatures or conducting material tests. Second, an elastic finite element analysis was performed to calculate the residual stress distribution for glass plate corresponding to the real packaging process. The effects of thermal expansion coefficients and the influence of the exhaust tube on the residual stress in the vacuum condition were examined and discussed. Finally, the optimum design of spacer was discussed.

## 誌謝

能順利的完成碩士班的學業，要感謝的人非常的多，首先要謝謝指導教授洪景華老師兩年來不辭辛勞的指導，教導我做學問的態度與方法，並關心我的生活與健康，且不時的分享許許多多的生活經驗，使學生獲益良多。另外還要感謝口試委員陳復國、陳申岳、徐瑞坤老師，對於我的研究給予許多建議和方向。

再來感謝精密工程與模擬實驗室的所有成員，今年順利拿到博士學位的洪榮崇學長以及其他博士班的宇中、中興、政成、東釗、煌碁、正展學長對於我平時的照顧與指導。感謝兩年一起共同打拼的嘉偉、銘傑，還有學弟理強、彥彬、宗駿、黃詠，以及專題學弟志嘉。



同時也要感謝工研院電子所以及周麟恩先生，沒有你們的幫忙，我也不可能如期的完成這份研究。

最後要感謝我的家人，在我求學的過程中一直支持我，讓我沒有後顧之憂，能夠認真地唸書，謝謝你們。

感謝所有曾經幫助過我的人。

# 目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1 CNT-FED簡介.....	1
1.2 CNT-FED之製造程序.....	2
1.3 研究動機與目的.....	3
1.4 影響裂片的主要因素.....	3
1.5 研究方法及步驟.....	4
1.6 章節介紹.....	5
第二章 玻璃材料性質.....	7
2.1 玻璃的一般性質.....	7
2.1.1 玻璃轉移溫度.....	7
2.1.2 玻璃黏度.....	8
2.1.3 玻璃力學模型.....	8
2.2 廠商提供之材料性質.....	9
2.3 玻璃粉材料性質量測.....	10
第三章 CNT-BLU面板之有限元素模擬分析.....	13
3.1 使用軟體簡介.....	13
3.1.1 CATIA.....	13
3.1.2 前處理軟體ABAQUS/CAE.....	14
3.1.3 有限元素分析求解軟體ABAQUS.....	14
3.2 初步模擬.....	15
3.2.1 幾何模型.....	15
3.2.2 基本假設.....	15
3.2.3 材料性質.....	16
3.2.4 CNT-BLU之邊界條件.....	16
3.2.5 網格系統.....	16
3.2.6 模擬結果與討論.....	17
3.3 膨脹係數對殘留應力的影響.....	18
3.4 加入玻璃粉的模擬.....	20
3.4.1 玻璃粉層厚度量測.....	20

3.4.2 邊界條件的設定.....	20
3.4.3 模擬設定.....	20
3.5 加入抽氣管的模擬.....	21
3.5.1 幾何模型.....	22
3.5.2 模擬設定.....	22
3.5.3 模擬結果與討論.....	22
3.6 抽真空的影響.....	23
3.6.1 幾何模型.....	23
3.6.2 模擬設定.....	23
3.6.3 模擬結果與討論.....	24
第四章 CNT-BLU Spacer之最佳設計.....	46
4.1 最佳化設計概述.....	46
4.2 最佳化的數學模式.....	47
4.3 Spacer之最佳化設計.....	48
第五章 CNT-FED面板之有限元素分析.....	62
5.1 初步模擬.....	62
5.1.1 幾何模型.....	62
5.1.2 模擬設定.....	62
5.1.3 模擬結果與討論.....	63
5.2 加入玻璃粉的模擬.....	63
5.2.1 模擬設定.....	63
5.2.2 模擬結果與討論.....	64
5.3 抽真空的影響.....	64
5.3.1 幾何模型.....	64
5.3.2 模擬設定.....	64
5.3.3 模擬結果與討論.....	65
5.4 拓樸概念設計.....	65
5.4.1 拓樸理論.....	66
5.4.2 Spacer拓樸最佳化設計.....	67
第六章 總結與未來展望.....	97
6.1 研究總結.....	97
6.2 未來展望.....	98
參考文獻.....	100
附錄A、光彈應力量測.....	101

## 圖目錄

圖 1.1	CNT-FED製作流程圖	6
圖 1.2	CNT-BLU	6
圖 2.1	比容－溫度關係圖[5]	11
圖 2.2	黏度與溫度關係曲線[6]	11
圖 2.3	玻璃粉燒結成塊（經研磨後）	12
圖 3.1	邊框厚度為 4.8 mm之設計圖	26
圖 3.2	邊框厚度為 4.8 mm立體圖	27
圖 3.3	CNT-BLU組合圖	27
圖 3.4	邊界條件（對稱面）	28
圖 3.5	邊界條件（固定點）	28
圖 3.6	網格數量收斂曲線	29
圖 3.7	網格圖	29
圖 3.8	Anode板初步模擬應力分佈	30
圖 3.9	Cathode板初步模擬應力分佈	30
圖 3.10	邊框初步模擬應力分佈	31
圖 3.11	膨脹係數與最大應力關係圖	31
圖 3.12	Anode板應力分佈圖（以Shell Element建立玻璃粉層）	32
圖 3.13	Cathode板應力分佈圖（以Shell Element建立玻璃粉層）	32
圖 3.14	邊框應力分佈圖（以Shell Element建立玻璃粉層）	33
圖 3.15	20吋面板抽氣管之設計圖	33
圖 3.16	20吋面板抽氣管之立體圖	34
圖 3.17	CNT-BLU組合圖（含抽氣管）	34
圖 3.18	加抽氣管之Anode板應力分佈（背面）	35
圖 3.19	加抽氣管之Anode板應力分佈（正面）	35
圖 3.20	加抽氣管之Cathode板應力分佈	36
圖 3.21	加抽氣管之邊框板應力分佈	36
圖 3.22	抽氣管與Anode板相接處之應力分佈圖	37
圖 3.23	單顆Spacer立體圖	38
圖 3.24	Spacer組合圖	38
圖 3.25	Anode板應力分佈（含Spacer燒結後）	39
圖 3.26	Anode板應力分佈（抽真空後）	39
圖 3.27	Cathode板應力分佈（含Spacer燒結後）	40
圖 3.28	Cathode板應力分佈（抽真空後）	40
圖 3.29	邊框應力分佈（含Spacer燒結後）	41
圖 3.30	邊框應力分佈（抽真空後）	41
圖 3.31	抽氣管應力分佈（含Spacer燒結後）	42

圖 3.32	抽氣管應力分佈 (抽真空後)	42
圖 3.33	Spacer應力分佈 (含Spacer燒結後)	43
圖 3.34	Spacer應力分佈 (抽真空後)	43
圖 3.35	玻璃粉接合間隙	44
圖 3.36	玻璃粉內部氣孔	44
圖 3.37	邊框轉角處照片	45
圖 4.1	改變Spacer位置—原始	51
圖 4.2	改變Spacer位置—1	51
圖 4.3	改變Spacer位置—2	52
圖 4.4	改變Spacer位置—3	52
圖 4.5	改變Spacer位置模擬結果	53
圖 4.6	改變Spacer數量—21 個	53
圖 4.7	改變Spacer數量—45 個	54
圖 4.8	改變Spacer數量—77 個 (原始個數)	54
圖 4.9	改變Spacer數量—117 個	55
圖 4.10	改變Spacer數量—165 個	55
圖 4.11	改變Spacer數量—221 個	56
圖 4.12	Spacer個數—最大應力曲線圖	56
圖 4.13	改變總接觸面積—120%	57
圖 4.14	改變總接觸面積—100%	57
圖 4.15	改變總接觸面積—80%	58
圖 4.16	改變總接觸面積—60%	58
圖 4.17	改變總接觸面積—40%	59
圖 4.18	總接觸面積—最大應力曲線圖	59
圖 4.19	改變Spacer截面積形狀—方形	60
圖 4.20	改變Spacer截面積形狀—圓形	60
圖 4.21	改變Spacer截面積形狀—十字形	61
圖 5.1	邊框厚度為 1 mm之設計圖	69
圖 5.2	邊框厚度為 1 mm立體圖	70
圖 5.3	Getter Box之設計圖	71
圖 5.4	Getter Box之立體圖	72
圖 5.5	CNT-FED爆炸圖	73
圖 5.6	CNT-FED組合圖	73
圖 5.7	Cathode板應力分佈圖	74
圖 5.8	Anode板應力分佈圖	75
圖 5.9	邊框應力分佈圖	75
圖 5.10	Getter Box應力分佈圖	76
圖 5.11	抽氣管應力分佈圖	76

圖 5.12	Cathode板應力分佈圖 (含玻璃粉)	77
圖 5.13	Anode板應力分佈圖 (含玻璃粉)	78
圖 5.14	邊框應力分佈圖 (含玻璃粉)	78
圖 5.15	Getter Box應力分佈圖 (含玻璃粉)	79
圖 5.16	抽氣管應力分佈圖 (含玻璃粉)	79
圖 5.17	Spacer可放置區域	80
圖 5.18	Spacer擺放位置圖	81
圖 5.19	Cathode板應力分佈圖 (抽真空後)	81
圖 5.20	Anode板應力分佈圖 (抽真空後)	82
圖 5.21	邊框應力分佈圖 (抽真空後)	82
圖 5.22	Spacer應力分佈圖 (抽真空後)	83
圖 5.23	Getter Box與抽氣管應力分佈圖 (抽真空後)	83
圖 5.24	Spacer擺放位置圖 (增加一排Spacer後)	84
圖 5.25	Cathode板應力分佈圖 (增加一排Spacer後)	84
圖 5.26	Anode板應力分佈圖 (增加一排Spacer後)	85
圖 5.27	邊框應力分佈圖 (增加一排Spacer後)	85
圖 5.28	Spacer應力分佈圖 (增加一排Spacer後)	86
圖 5.29	Getter Box與抽氣管應力分佈圖 (增加一排Spacer後)	86
圖 5.30	拓樸最佳化模型	87
圖 5.31	拓樸最佳化結果	87
圖 5.32	上下板厚度為 0.2mm的模擬結果	88
圖 5.33	上下板厚度為 0.5mm的模擬結果	89
圖 5.34	上下板厚度為 1mm的模擬結果	90
圖 5.35	上下板厚度為 1.5mm的模擬結果	91
圖 5.36	上下板厚度為 2mm的模擬結果	92
圖 5.37	4個Spacer的模擬結果	93
圖 5.38	9個Spacer的模擬結果	93
圖 5.39	12個Spacer的模擬結果	94
圖 5.40	16個Spacer的模擬結果	94
圖 5.41	25個Spacer的模擬結果	95
圖 5.42	不同體積上限的模擬結果	96

## 表目錄

表 2.1	玻璃黏度參考點 .....	8
表 2.2	玻璃板材料性質 .....	9
表 2.3	玻璃粉材料性質 .....	10
表 2.4	玻璃粉楊氏係數 .....	10
表 3.1	模擬所採用之玻璃材料性質 .....	16
表 3.2	Soda-lime Glass物理及機械性質表 .....	18
表 3.3	不同 $\alpha$ 值的模擬結果 .....	19
表 3.4	模擬所採用之玻璃粉材料性質 .....	21
表 5.1	模擬所採用之材料性質 .....	63



# 第一章 緒論

## 1.1 CNT-FED 簡介

CNT-FED為Carbon Nanotube Field Emission Display（奈米碳管場發射顯示器）的簡稱。奈米碳管於1991年由日本NEC公司研究員飯島澄男所發現，其為直徑只有數個到數十個奈米的多層管狀碳材。依據不同之成長方式，CNT的型態一般可分為單層奈米碳管(SWNT)，直徑為數個奈米，或多層奈米碳管(MWNT)，直徑為數十個奈米，且由於碳原子於CNT中的排列結構的不同(包括：Zig-Zag、Armchair、Chiral三種)，可使得CNT成為半導體或導體，造成CNT不僅可使用於FED，更可運用在儲氫材料、二次離電池、生物醫學、電晶體...等。國際上許多的單位投入成長CNT及研究其特性，至於CNT的場發射電子特性，在1995年由A.G. Rinzler等人首先確立[1]。

傳統的場發射顯示器之三極結構，由真空封裝 (Vacuum Sealing) 技術將薄膜式的場發射陣列(FEA)所構成之陰極板(Cathode Plate)，與利用厚膜網印法製作成螢光粉層之陽極板(Anode Plate)，組合於高真空( $10^{-6}\sim 10^{-7}$  Torr)的環境下，利用FEA所產生的電子源，於陽極電壓(3000-8000V)的加速下撞擊螢光粉使其發光，因此FED為一自發光顯示器，且具備高亮度、高效率、無視角限制、省電等優點。

CNT-FED 是利用厚膜網印製程及 FED 技術實現 CRT 平面化的可能性，不僅保留了 CRT 的影像品質，並具有省電及體積薄小之優點；同時結合奈米碳管的低導通電場、高發射電流密度、高穩定性

等特性，成為兼具低驅動電壓、高發光效率、無視角問題、省電的大尺寸、低成本...等優點的全新平面顯示器。

## 1.2 CNT-FED 之製造程序

CNT-FED 的製作流程如圖 1.1 所示，Anode 板與 Cathode 板分別經過數道不同的高溫製程（如 DC260 與 Ag Pad 等），最後進行真空封裝的程序。真空封裝又可分為四個主要的部份：

1. 封裝上蓋（Package）：在 Anode 板與 Cathode 板間加上邊框、Spacer、抽氣管與 Getter Box。其中邊框的功用在於使上下兩板間形成一個密閉的空間；Spacer 的主要是用來支撐上下兩板與固定期間的距離；抽氣管為後續抽真空用；Getter Box 內裝有吸氧劑可吸收面板內殘留的氣體。各個元件間塗佈玻璃粉熔塊以高溫燒結在一起，以確保達密閉效果。
2. 抽氣（Exhausting）：燒結後以抽氣管將內部抽成高度真空的狀態。
3. 封止（Tip-off）：抽完真空後，以氫氧焰將抽氣管封止。
4. 吸氧劑活化（Getter Flash）：以RF照射Getter Box讓吸氧劑活化，吸收面板內部殘留的氣體。封裝後的成品如圖 1.2 所示，但照片上的CNT-BLU封裝前並未經任何的前製程，僅進行真空封裝的實驗成品。

在目前（2005 年）工研院電子所的研究中，20 吋面板有兩種不同的規格，一種為邊框厚度 4.8 mm，其主要將做為 LCD 背光模組（Backlight Unit, BLU）用，另一種為邊框厚度 1 mm，將做為顯示器（FED）用。此兩種不同規格的面板皆會在本論文中進行研究。

### 1.3 研究動機與目的

在 CNT-FED 以及 CNT-BLU 的封裝中，目前遇到最嚴重的問題在於，封裝後玻璃基板會產生破裂的情形，玻璃板產生破裂則無法保持內部的真空，內部無法真空則場發射將失敗。因此，封裝製程的好壞將直接影響 CNT-FED 產品的良率，必須解決此良率的問題，才能將此產品進行量產。

本論文針對此一問題進行研究，以數值模擬的方法進行，其目的為避免封裝的過程中，玻璃基板產生過大的殘留應力，導致玻璃板破裂。

### 1.4 影響裂片的主要因素

本節將整理影響 CNT-FED 在封裝過程中，產生破裂的主要原因及其解決方法，如下所示：

1. 製程過程殘留應力：在封裝前的高溫製程與後段封裝的過程中，因為溫度的升降與材料的熱膨脹係數不同，導致降溫後在玻璃上留下殘留應力，若殘留應力過大則會導致玻璃破裂。
2. Anode 板上的抽氣孔：觀察裂片情形發現，在很多的情況下破裂是由抽氣孔起始，因此推斷抽氣孔可能是影響裂片的重要因素。由於抽氣孔是在採用鑽孔的方式獲得，鑽孔會在玻璃上留下許多微小裂縫與殘留應力，而微裂縫會使玻璃的強度下降，且玻璃的脆性破壞是由裂縫起始。因此，觀察到裂片由抽氣孔開始向外裂開，解決此問題的方法可

以在玻璃鑽孔後，對玻璃進行退火處理，降低其殘留應力與微裂縫的數量。

3. 玻璃粉燒結後所產生的氣孔：玻璃粉在燒結成固體時，很容易在其內部產生氣孔，氣孔就如同一個裂縫一樣，會使玻璃的強度降低。在調製玻璃粉與溶劑時，若在混合後進行除氣的工作，將會減少燒結後氣孔的產生。
4. 邊框：邊框的四個彎角處易產生應力集中，且邊框表面若太過於粗糙，則玻璃粉不易與邊框接合，將增加玻璃粉燒結後的氣孔。解決次問題的方法是在邊框設計上應避免產生應力集中的現象，且需注意邊框表面的粗糙度。

本研究將配合各項實驗，在盡可能排除了上述 2~4 點的因素後，以數值方式計算殘留應力的大小，再進而控制各項製程參數，以期改善封裝及真空製程的裂片發生。

## 1.5 研究方法及步驟

本研究計畫針對 CNT-FED 的封裝過程進行模擬研究，首先著重於有限元素模型之建立，接著進行初步的模擬，最後進行製程參數的最佳化。研究方法及步驟說明如下：

1. 材料分析模型之建立：在數值模擬的過程中，需選擇一個與真實現象接近且適合用於此研究問題的數學模型，選擇正確的材料分析模型，可增加模擬結果的準確性。材料性質的取得則可由三方面進行：玻璃製造廠商提供、文獻中查得或自行做實驗獲得。
2. 對製程進行合理的假設，並訂定分析所需的邊界條件：在進行模擬分析前，需將實際的物理模型加以簡化，若不進

行簡化則問題會過於複雜，將導致模擬難以進行，當然簡化的過程必須合理且不影響模擬的正確性。

3. 以商用軟體 ABAQUS 進行初步的模擬分析：ABAQUS 是國際上先進的大型通用有限元素計算分析軟體之一，具有廣泛的模擬分析性能，且本實驗室曾利用此軟體進行熱應力相關的分析[2][3]，因此初步決定選用此軟體進行模擬分析。以 ABAQUS 建立一個系統化的分析模型，以便將來製程有修正時，僅需要改變數個參數即可，不需重新建立新的分析模型。
4. 最佳機構及製程參數之取得：整合有限元素法及最佳設化系統，來訂定製程目標及拘束條件，運用修正後的有限元素分析模型，對不同的製程進行模擬分析，以取得最佳的玻璃板機構條件及封製程之參數。



## 1.6 章節介紹

接續著本章節對 CNT-FED 封裝製程的介紹後，在本報告的第二章將介紹玻璃的材料性質。第三章針對 CNT-BLU 面板進行有限元素模擬分析，並針對模擬的結果進行討論，以及探討不同參數對模擬結果的影響。第四章對 CNT-BLU Spacer 進行最佳化設計的研究。第五章則針對 CNT-FED 進行有限元素模擬分析，其模擬流程與第三章類似，並加入 Spacer 拓樸最佳化的部份。最後第六章為結論與未來展望的部份。

## Process flow of triode CNTs-FED

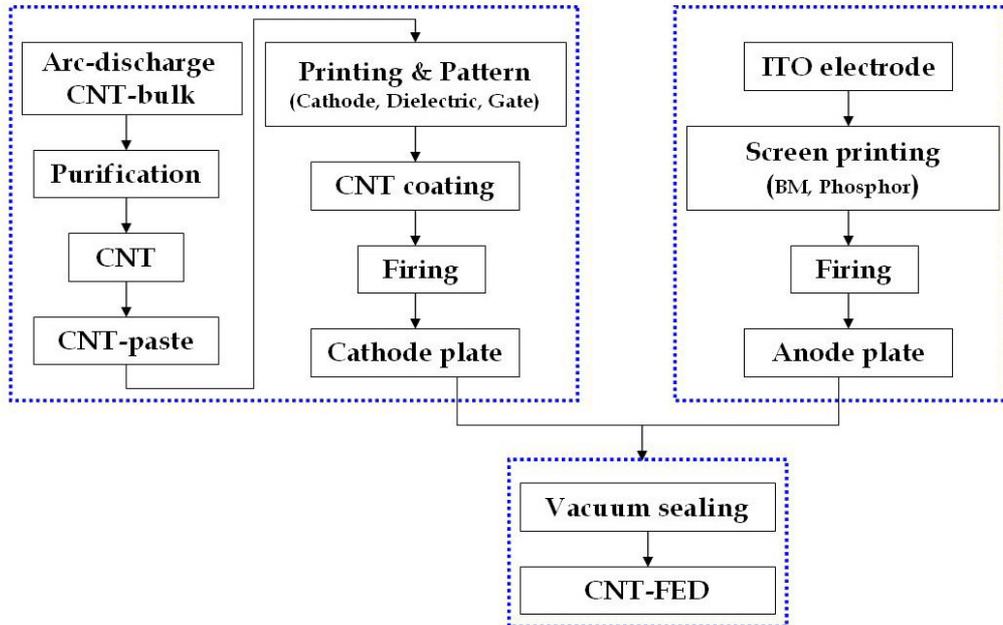


圖 1.1 CNT-FED 製作流程圖



圖 1.2 CNT-BLU

## 第二章 玻璃材料性質

### 2.1 玻璃的一般性質

大多數的液體經冷卻後，達到一定的溫度就會開始結晶凝固，而有一部份的液體在冷卻的過程中不會在固定的溫度下凝固，只是逐漸地增加其黏度，最後不進行結晶而成為硬的固形物，如此之物質由常溫加熱時就隨即軟化再變為凝態，不似一般結晶物質具有一定熔點，如此之非結晶的凝固物稱為玻璃狀態，具有此狀態之物質稱為玻璃[4]。

#### 2.1.1 玻璃轉移溫度

玻璃的體積會隨著溫度變化而變化，玻璃在升溫過程中，溫度與體積大致上呈線性的變化，當加熱至某一溫度時，體積變化率會稍微增大，但不至於陡升，該溫度則稱為玻璃轉移溫度（Glass Transition Temperature;  $T_g$ ），如圖 2.1 所示[5]。

玻璃處於 $T_g$ 點上方的溫度時，當溫度下降，除了原子震動減少使體積收縮外，也有因為原子移動重新排列成更密堆積，則因為原子已經無法移動重新排列，當溫度逐漸降低時，僅剩下因熱震動減少而使體積減少的因素，因此行成 $T_g$ 點以上的熱膨脹係數要比 $T_g$ 點以下的大。

## 2.1.2 玻璃黏度

玻璃在高溫時為液狀黏性物質，其黏度隨溫度升高而降低。其中幾個常用且比較重要的黏度參考點列於表 2.1。而一般的 Soda-lime-silica Glass 的黏度與溫度關係曲線如圖 2.2 所示[6]。

表 2.1 玻璃黏度參考點

	$\eta(dPa \cdot s)$
Melting Point	$10^2$
Working Point	$10^4$
Sink Point	$10^{4.22}$
Flow Point	$10^5$
Softening Point	$10^{7.8}$
Dilatometric Point	$10^{11.3}$
Annealing Point	$10^{13}$
Transition Point	$10^{13} \sim 10^{13.6}$
Strain Point	$10^{14.5}$

## 2.1.3 玻璃力學模型

玻璃隨著溫度升高，可區分為三種不同的模型：彈性、黏彈性與黏性。一般來說玻璃溫度低於 $T_g$ 時，其現象接近於彈性固體。在溫度夠高時，則可當作是黏性流體。介於這兩者之間的區域，屬於黏彈性行為[6]。

1. 彈性：玻璃溫度在 $T_g$ 以下時，由於黏性的增加，玻璃內的分  
子不產生重排而成為極脆的狀態。當變形量很小時，變形  
會按照虎克定律而成為接近於理想的彈性固體，即應力與  
應變成正比。
2. 黏性流體：當玻璃溫度超過轉移區域之後，他所呈現的黏  
性流體行為，此時玻璃內部的分子因溫度的提升得以快速  
地進行重排，所以此區物分子的流動是較為自由的。

3. 黏彈性：玻璃的行為表現在高溫時為流體，在低溫時為彈性固體。而在黏性及彈性中間的溫度區域推斷應有黏彈性之存在。一般黏彈性體具有潛變（Creep）與應力鬆弛（Stress Relaxation）兩種現象。潛變現象為施予一固定應力時，其應變不會達到平衡而是會持續地增加；應力鬆弛則是施予一固定應變時，則其內部應力會隨時間增加而降低。

## 2.2 廠商提供之材料性質

在論文中所使用到的玻璃材料有 PD 200 Glass 與 Soda-lime Glass 兩種，玻璃粉材料有玻璃粉廠商 FERRO 所生產型號為 7575 與 2020 兩種。玻璃板材廠商所提供之材料性質如表 2.2 所示。

表 2.2 玻璃板材料性質

Property	PD 200 Glass	Soda-lime Glass
Thermal Expansion Coefficient (50-350°C)	$83 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	$85 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$
Strain Point	570°C	511°C
Softening Point	830°C	735°C
Annealing Point	620°C	554°C
Density	2770kg/m <sup>3</sup>	2490kg/m <sup>3</sup>
Young's Modulus	76.518GPa	71.613GPa
Shear Modulus	31.392GPa	29.43GPa
Poisson's ratio	0.21	0.21
Bulk Resistivity at 150°C	12 logp(Ω.cm)	8.5 logp(Ω.cm)
Dielectric Constant at 1MHz	7.9	7.6
Refractive Index	1.55	1.52

而兩種玻璃粉其主要的物理特性大致相同，最大的差別在其高溫的再結晶性，表 2.3 中列出 7575 的材料性質。

表 2.3 玻璃粉材料性質

Property	7575
Thermal Expansion Coefficient	$89 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$
Strain Point	294°C
Softening Point	380°C
Sealing Temperature	450°C
Density	6300kg/m <sup>3</sup>
Young's Modulus	41.2~54.9MPa

## 2.3 玻璃粉材料性質量測

廠商所提供之玻璃粉 7575 其楊氏係數為 41.2~54.9MPa 與一般玻璃的楊氏係數差距甚大，同樣是玻璃材料理論上應該不會有這麼大的不同，因此對廠商所提供的數值有所懷疑，所以需做實驗來驗證。將玻璃粉燒結成塊狀，再將其研磨成適當的試片尺寸（圖 2.3），以單軸壓縮試驗來獲得其楊氏係數。實驗結果如表 2.4 所示。實驗的結果比廠商所提供值較大且更接近玻璃板的值，但因玻璃粉燒結後其內部較不緊密，所以其楊氏係數還是比玻璃板的值小。此實際所得之係數將用於後續的數值分析中。

表 2.4 玻璃粉楊氏係數

	實驗值	廠商值
2020	1.78GPa	20.6~34.3MPa
7575	1.73GPa	41.2~54.9MPa

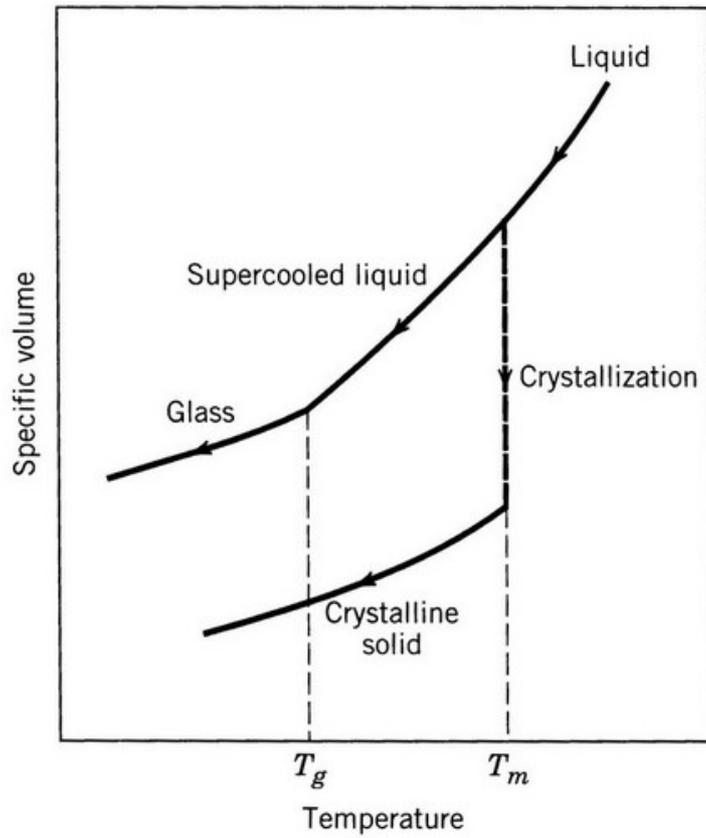


圖 2.1 比容—溫度關係圖[5]

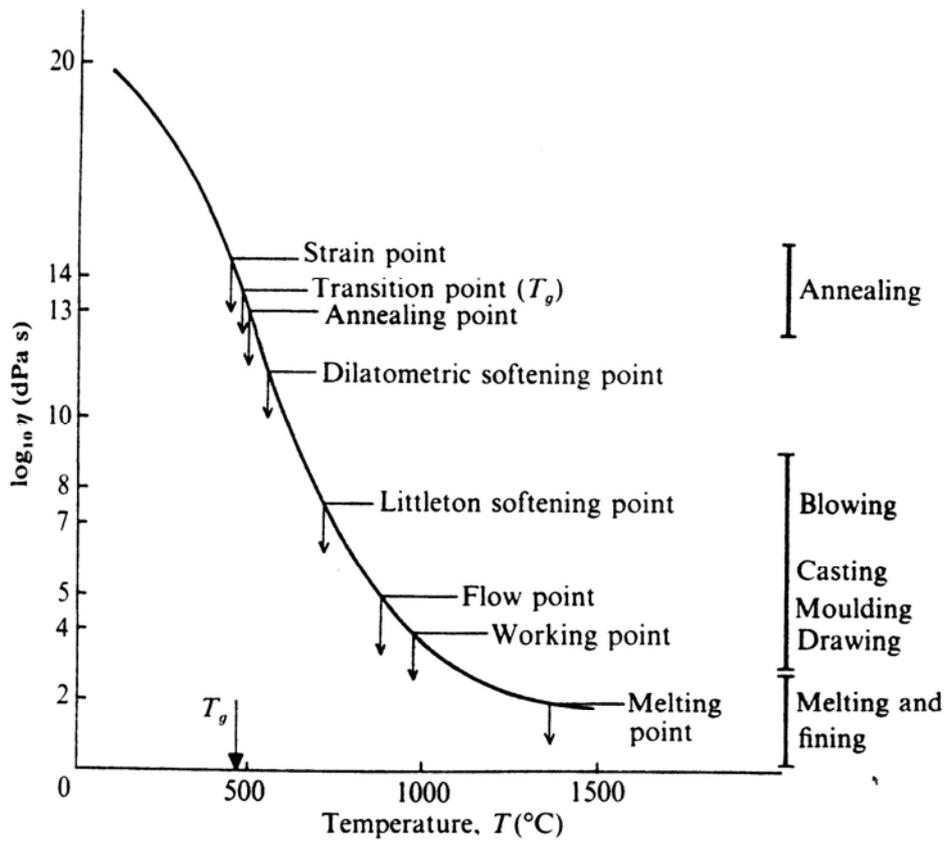


圖 2.2 黏度與溫度關係曲線[6]



圖 2.3 玻璃粉燒結成塊（經研磨後）

## 第三章 CNT-BLU 面板之有限元素模擬分析

本論文配合工研院電子所的產品研發順序，因此首先針對邊框厚度 4.8 mm 之 CNT-BLU 背光板的封裝製程，進行有限元素數值模擬研究，並探討各種不同參數對殘留應力的影響。首先利用繪圖軟體建立 CNT-BLU 的幾何外型，再匯入前處理軟體產生網格，加入材料性質與邊界負載條件，最後由有限元素模擬分析軟體計算出其應力應變等等結果。

### 3.1 使用軟體簡介

論文中以 CATIA 建立幾何模型匯入前處理器 ABAQUS/CAE 進行網格的建立、邊界條件與材料性質的設定，最後以 ABAQUS 的 Standard 模組進行數值計算。



#### 3.1.1 CATIA

CATIA 為法國達梭 (Dassault) 所研發的 CAD/CAM/CAE/PLM 軟體，目前廣泛應用於航太，汽車造型，機械設計及電子產品。其具有超強產品設計、製造、模擬與最佳化的先進 3D 產品生命週期管理功能。在本研究中使用的版本為 CATIA V5R10，且僅用到 Part Design (零件設計模組) 與 Assembly Design (組立件設計模組) 兩模組，進行模型的幾何建立，再將其輸出為 stp 檔供前處理軟體匯入。

### 3.1.2 前處理軟體 ABAQUS/CAE

ABAQUS/CAE 是一個可以提供簡便操作介面的軟體，讓使用者能夠從模型的幾何建立、定義材料性質、邊界條件設定、建立網格系統到最後模擬完成並展示模擬結果，都由這個軟體完成。而此模組支援 ABAQUS/Standard 與 ABAQUS/Explicit 的模擬，在模擬的過程中，也能透過 ABAQUS/CAE，隨時監控模擬的進度。

### 3.1.3 有限元素分析求解軟體 ABAQUS

ABAQUS 是一套功能強大的工程模擬軟體，對於任何的幾何形狀與典型的工程材料，可作線性與非線性分析，模擬的領域也相當廣泛，如結構、熱傳、質量擴散等等。在絕大部份的模擬中，使用者只需提供工程資料，如結構幾何、材料行為、邊界條件及施予的負載，ABAQUS 會自動連續地調整負載增量（Increment）與收斂公差，使模擬的結果更為正確、更有效率。

ABAQUS 提供多個模組給不同需求的使用者，而本研究主要使用的模組有：

- ABAQUS/CAE：ABAQUS 的前、後處理使用者圖形介面程式，除了簡單的前處理功能外，也提供模擬後圖形與數值的分析結果。
- ABAQUS/Standard：有限元素模擬分析的主程式，處理一般線性或非線性問題。

## 3.2 初步模擬

本節將針對邊框為 4.8 mm 厚的 20 吋 CNT-BLU 面板進行初步的模擬，首先僅考慮 Anode 板、Cathode 板與邊框，忽略玻璃粉與抽氣管的影響。

### 3.2.1 幾何模型

根據工研院電子所提供的邊框設計圖（圖 3.1），以 CATIA 繪製成立體圖（圖 3.2），加上 Anode 板與 Cathode 板組合如圖 3.3 所示。

### 3.2.2 基本假設

1. 封裝製程最高溫度為 420°C，低於玻璃轉移點溫度其黏滯現象不顯著，因此在模擬過程將玻璃材料假設為彈性。
2. 玻璃製造廠商所提供的熱膨脹係數在 50°C~350°C 時為定值，而製程的溫度 25°C~420°C 略大於適用範圍，不過在模擬時將熱膨脹係數假設為定值，以廠商所提供的資料代替。
3. 因封裝時的夾持力不大，所以在過程中不會產生很大的束縛，僅在溫度下降至玻璃粉的熔化溫度 380°C 時，玻璃粉開始凝固後才會出現束縛力，因此假設溫度上升至 420°C 再下降至 380°C 時，玻璃板上沒有應力。
4. 假設溫度在 380°C 時，邊框與上下兩板完全接合在一起，接著進行降溫的模擬。
5. 在製程中的降溫速度緩慢，因此面板上的溫度分佈梯度不大，所以在模擬過程中假設面板均溫。

6. 因在升溫過程中面板的尺寸變化不大，因此在 380°C 開始降溫時，假設其尺寸與常溫時一樣。

### 3.2.3 材料性質

模擬所採用的玻璃材料性質由工研院電子所提供，其中模擬所使用到的材料性質如表 3.1 所列。其中 Anode 板與 Cathode 板的材料為 PD200 Glass，邊框的材料為 Soda-lime Glass。

表 3.1 模擬所採用之玻璃材料性質

	PD200	Soda-lime
Young's modulus (Pa)	$7.6518 \times 10^{10}$	$7.1613 \times 10^{10}$
Poisson's ratio	0.21	0.21
Thermal expansion coefficient ( $1/^{\circ}\text{C}$ )	$8.3 \times 10^{-6}$	$8.5 \times 10^{-6}$

### 3.2.4 CNT-BLU 之邊界條件

有限元素模擬分析中，邊界條件的設定是非常重要的一个環節，所設定的不恰當，則將對模擬分析的結果有重大的影響。本研究在模擬 CNT-BLU 的封裝過程，邊界條件設定如下：

1. 整個模型左右對稱，因此取中間為對稱面（圖 3.4）。
2. 固定邊框上的一點，以避免產生剛體運動，此條件並不影響整體的變形（圖 3.5）。
3. 模型的初始溫度設定為 380°C，接著降溫致室溫 25°C。降溫過程中整個工件之溫度為均勻分佈。

### 3.2.5 網格系統

在模擬中假設溫度均勻分佈，可不須進行熱傳的分析，只需進行應力分析即可。ABAQUS 應力分析模擬所採用的是三維應力元素

(3D Stress Element)。而本次模擬是採用 4 節點的應力元素 (C3D4) 來建立網格。

CNT-FED 分成 Anode 板、Cathode 板及邊框三個部份，先將此三部份接合 (Merge) 在一起，以確保這三部份的接觸面能完美的接合，再分別建立網格與給定材料性質。由於邊框的具有較特別的幾何外型，因此須在邊框的部份進行網格加密，嘗試不同的網格密度進行分析，其收斂的情形如圖 3.6，可發現網格數達 171621 時差不多達到飽和 (圖 3.7)，因此採用此網格數所模擬計算的結果。

### 3.2.6 模擬結果與討論

在本研究中模擬的結果皆是採用 von Mises Stress，此一等效應力能否使用在玻璃上仍有待商榷，但由於現今對於玻璃的破壞準則尚無一定論，因此在論文中先行選用 von Mises Stress 當作模擬的結果。從模擬結果的 von Mises Stress 分佈圖 (圖 3.8 至圖 3.10) 可發現，Anode 板與 Cathode 板上的應力皆集中在與邊框有接觸的部份，其值大小約 3MPa 左右。而邊框上的應力分佈較為均勻，僅在邊緣處有稍大一點的現象，其邊框上的應力值約 5MPa 左右，較上下兩板大。

至於破壞強度的實驗，由於在切割玻璃試片時，會留下許多看不見的微裂縫，無法控制每一個試片的一致性，因此沒有辦法進行實驗。且玻璃供應商皆無提供玻璃的破壞強度，因此根據台灣玻璃公司所提供的 Soda-lime Glass 物理及機械性質表 (表 3.2)，其平均的破壞應力為  $500\text{kg/cm}^2$ ，約為 49.05MPa。雖然本研究所採用的 Soda-lime Glass 與台灣玻璃所提供的資料其玻璃成分有所差異，但其性質應該差距不大，可以作為參考用。

表 3.2 Soda-lime Glass 物理及機械性質表

	數值
屈折率	1.52
反射	4%
比熱	0.2 kcal/kg°C
軟化溫度	720~730°C
熱傳導係數	0.65 kcal/mh°C
線膨脹係數	$8.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
硬度	6.5 度 莫氏硬度
比重	2.5
耐壓強度	588.6~1177.2MPa
平均破壞應力	49.05MPa
楊氏係數	71.613GPa
泊松比	0.22

經模擬計算邊框上的最大應力值為 8.16MPa，與其破壞應力 50MPa 差距甚大，理論上這樣的應力不會造成破壞，與事實上的結果有所出入，因為玻璃的強度與玻璃的微裂縫分佈與製造方式有很大的關係，所以實際上的強度與 50MPa 有所差異。

### 3.3 膨脹係數對殘留應力的影響

在前一節中，對 CNT-BLU 的封裝過程進行了初步的模擬，並且嘗試出一組飽和的網格密度。在這本節中，將利用此模型進行應用，探討膨脹係數對殘留應力的影響。

模擬分析所用的幾何模型、基本假設、邊界條件與網格系統皆與 3.2 節一樣。在材料性質方面，僅改變 Soda-lime Glass 的熱膨脹係數 (Thermal Expansion Coefficient,  $\alpha$ )，嘗試數組不同的熱膨脹係數，觀察其模擬所得的最大應力值 (Maximum von Mises Stress)，其結果如表 3.3 與圖 3.11。

表 3.3 不同  $\alpha$  值的模擬結果

$\alpha$ (Soda-lime Glass) ( $^{\circ}\text{C}$ )	Maximum von Mises Stress (MPa)
$7.6 \times 10^{-6}$	28.56
$7.8 \times 10^{-6}$	20.4
$8.0 \times 10^{-6}$	12.24
$8.1 \times 10^{-6}$	8.16
$8.2 \times 10^{-6}$	4.08
$8.4 \times 10^{-6}$	4.08
$8.5 \times 10^{-6}$ (原數值)	8.16
$8.6 \times 10^{-6}$	12.24
$8.8 \times 10^{-6}$	20.4
$9.0 \times 10^{-6}$	28.56

※ $\alpha$ (PD200 Glass) :  $8.3 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$

從模擬的結果可發現，上下兩板 (PD200 Glass) 與邊框 (Soda-lime Glass) 的膨脹係數相差越小，則其最後的應力值越小。當兩種材料膨脹係數相同時，由於產生的應力值非常小，反而導致分析無法收斂，因此未列出。此外，當兩膨脹係數相差值一樣時，不論是哪一種材料的數值較大，其最終的模擬結果皆相同。此結果可以提供將來在更換材料時做為參考。

## 3.4 加入玻璃粉的模擬

玻璃粉的功用在於將 Anode 板、邊框與 Cathode 燒結在一起。其程序將是先將玻璃粉與溶劑調配，再將其塗佈在欲燒結的部份，升溫使玻璃粉呈熔融狀，接著降溫讓熔塊凝固使其接合。在本節中，將初步模擬的模型再加上兩層玻璃粉，探討玻璃粉對殘留應力的影響。

### 3.4.1 玻璃粉層厚度量測

由於燒結後的玻璃粉層夾在 CTN-BLU 面板間，無法直接地量測其厚度，因此，採用先量測整個面板的厚度，再扣掉上下兩板與邊框的厚度。以精度 0.01 mm 的分厘卡量測 20 吋面板在邊框上的厚度，量測 12 個位置得其平均厚度為 10.52 mm，扣除邊框的 4.8 mm 與 Anode 板、Cathode 板各 2.8 mm，所得的玻璃粉厚度為 0.12 mm，因此一層玻璃粉厚度 0.06 mm。

### 3.4.2 邊界條件的設定

由於玻璃粉厚度僅有 0.06 mm，因此再建立網格時，所需的網格尺寸也相對要很小。在與玻璃粉層有相接觸的面上網格尺寸也必須與玻璃粉的相近，但邊框與上下兩板的厚度比玻璃粉大很多，所需的網格數量太大導致電腦無法處理。因此嘗試以薄殼元素 (Shell Element) 來建立玻璃粉的網格，以期能進行分析。

### 3.4.3 模擬設定

其模擬的基本假設與 3.2.2 節相同，且不考慮玻璃粉在升溫熔化過程的影響，直接假設在 380°C 時變成固體連結在一起。

模擬所採用的材料性質與 3.2.3 節相同，而玻璃粉的性質則如表 3.4。

表 3.4 模擬所採用之玻璃粉材料性質

Young's modulus (Pa)	$1.73 \times 10^9$
Poisson's ratio	0.21
Thermal expansion coefficient ( $1/^\circ\text{C}$ )	$8.9 \times 10^{-6}$

建立網格系統的方法與之前有所差異，先將 Anode 板、Cathode 板與邊框以 C3D4 的實體元素建立網格，再給定材料係數。接著以 S3 的薄殼元素建立兩玻璃粉層並給定材料係數。最後將五個部份以 Tie 的方式連結在一起。此 Tie 的方式是一種限制條件，在模擬中限制不同部份節點與節點間的關係，以確保在模擬中不同部份可以接合在一起。

在此次模擬中取整個面板的二分之一進行，其他條件與 3.4 節一樣，其模擬的結果如圖 3.12 至圖 3.14，其應力分佈情形也與初步模擬相似。在 3.4 節與 3.5 節中，嘗試以兩種不同的方法建立玻璃粉層，其模擬的結果皆顯示出加入玻璃粉層對整體應力的影響不大，因此，在後續的模擬中將省略玻璃粉層，而以限制條件的方式來替代。

### 3.5 加入抽氣管的模擬

在初步模擬時，僅考慮了 Anode 板、Cathode 板與邊框三部份，在本節中將再加上抽氣管的部份，了解抽氣管對整體殘留應力的影響。

### 3.5.1 幾何模型

根據 20 吋面板的抽氣管設計圖（圖 3.15），由於模擬分析時的重點在與 Anode 板接觸的部份，因此在繪製成立體圖（圖 3.16）時，僅取其直線部份，即圖中紅框部份。將 Anode 板、Cathode 板、邊框與抽氣管組合後，取一半進行分析，其幾何模型如圖 3.17。

### 3.5.2 模擬設定

其模擬中的基本假設與邊界條件的設定皆與 3.2.2 與 3.2.4 節中相同。

模擬所採用的玻璃材料性質，如表 3.1 所列。其中 Anode 板與 Cathode 板的材料為 PD200 Glass，邊框與抽氣管的材料為 Soda-lime Glass。

在網格系統方面，同樣採用 C3D4 的元素來建立網格，先將 Anode 板、Cathode 板、邊框及抽氣管四個部份接合（Merge）在一起，以確保這四部份的接觸面能完美的接合，再分別建立網格與給定材料性質。在此模擬中，同樣有嘗試不同的網格數進行網格收斂的分析。

### 3.5.3 模擬結果與討論

加上抽氣管的模擬結果 von Mises Stress 分佈圖（圖 3.18 至圖 3.22），與 3.2 節的初步模擬（圖 3.8 至圖 3.10）比較，可發現邊框與 Cathode 板上的應力分佈情形與其數值大小皆差不多。而在 Anode 板上大部份的區域也與初步模擬差不多，僅在靠近抽氣管的

區域應力值有明顯的增加，且其數值大小較 Anode 板上其他部份來的大，這可做為解釋大部分實驗時，破裂多從抽氣孔開始的理由。

## 3.6 抽真空的影響

之前的模擬都只針對燒結的過程，還沒有考慮到燒結後抽真空的情形。抽真空使面板外承受一大氣壓的壓力，會增加內部的應力值甚至產生破裂。本節將增加 Spacer 於 Anode 板與 Cathode 板間做為支撐，並對抽真空進行模擬。

### 3.6.1 幾何模型

Spacer 的外型有數種不同的選擇，在本節的模擬中選用 2.5 mm × 2.5 mm × 5 mm 的長方柱（圖 3.23）。整個面板上一共放置 77 個 Spacer，分均分佈於 Anode 板與 Cathode 板間如圖 3.24 所示。

### 3.6.2 模擬設定

其模擬中的基本假設與邊界條件的設定皆與 3.2.2 與 3.2.4 節中相同。而 Spacer 的材料為 Soda-lime Glass。

在網格系統方面，同樣採用 C3D4 的元素來建立網格，先將 Anode 板、Cathode 板、邊框、抽氣管及 Spacer 五個部份接合（Merge）在一起，以確保這五部份的接觸面能完美的接合，再分別建立網格與給定材料性質。

在模擬的過程中，第一步為燒結過程如先前的模擬一樣，將整個面板的溫度由 380°C 降至 25°C，接著進行第二步的抽真空過程，抽真空即是在面板的內表面施加負一大氣壓的壓力。

### 3.6.3 模擬結果與討論

燒結後與抽真空後的模擬結果 von Mises Stress 分佈如圖 3.25 至圖 3.34 所示。觀察燒結後的結果可發現，除了 Anode 板與 Cathode 板上與 Spacer 附近的區域，其他部份的應力值與 3.6 節中的結果相似。此時應力最大值出現在邊框上，而每一個 Spacer 上的應力值皆約 5MPa 左右。抽真空後，邊框與抽氣管上的應力值只有些許的增加；Anode 板與 Cathode 由 4MPa 左右增加至 12MPa 左右。影響最大的部份在 Spacer，越靠近中間對稱面的 Spacer 有越大的應力值，其最大值約為 25MPa。在前文中有提到 Soda-lime Glass 的平均破壞強度為 49.05MPa，所以在再抽真空後 Spacer 上的安全係數僅有 2，且玻璃的強度容易受到許多因素而降低，因此在中央 Spacer 的地方很有可能先產生破壞。

模擬的結果顯示出在抽真空後，其面板上的最大應力並未達到其破壞強度，因此不會產生破壞的情形，但在真實的情況下，面板在燒結與抽真空後有破壞的情形，而破壞的發生多在抽氣孔和邊框的轉角處，探討其可能的原因如下：

1. 如 1.4 節所述，抽氣孔會有許多微裂縫的存在，在模擬中並無將此部份加入。
2. 在模擬中僅將玻璃粉層當做一限制條件，且為完美接合的情況，在實驗中常出現玻璃粉接合不完全的情況如圖 3.35 所示，而玻璃在燒結後也常在內部有氣孔的產生如圖 3.36。
3. 邊框在製造上是先分別製作四邊的部份，再將其黏接起來如圖 3.37，此接合的方式與模擬時採用的模型有相當大的差異。

面板燒結後，其殘留應力不大理論上不會產生破壞的情形，但由於上述幾個原因的影響，導致在燒結後偶有破壞的發生。

本研究為驗證模擬的準確性，進行了光彈應力的量測與模擬結果的比較，此一部份介紹於附錄 A。



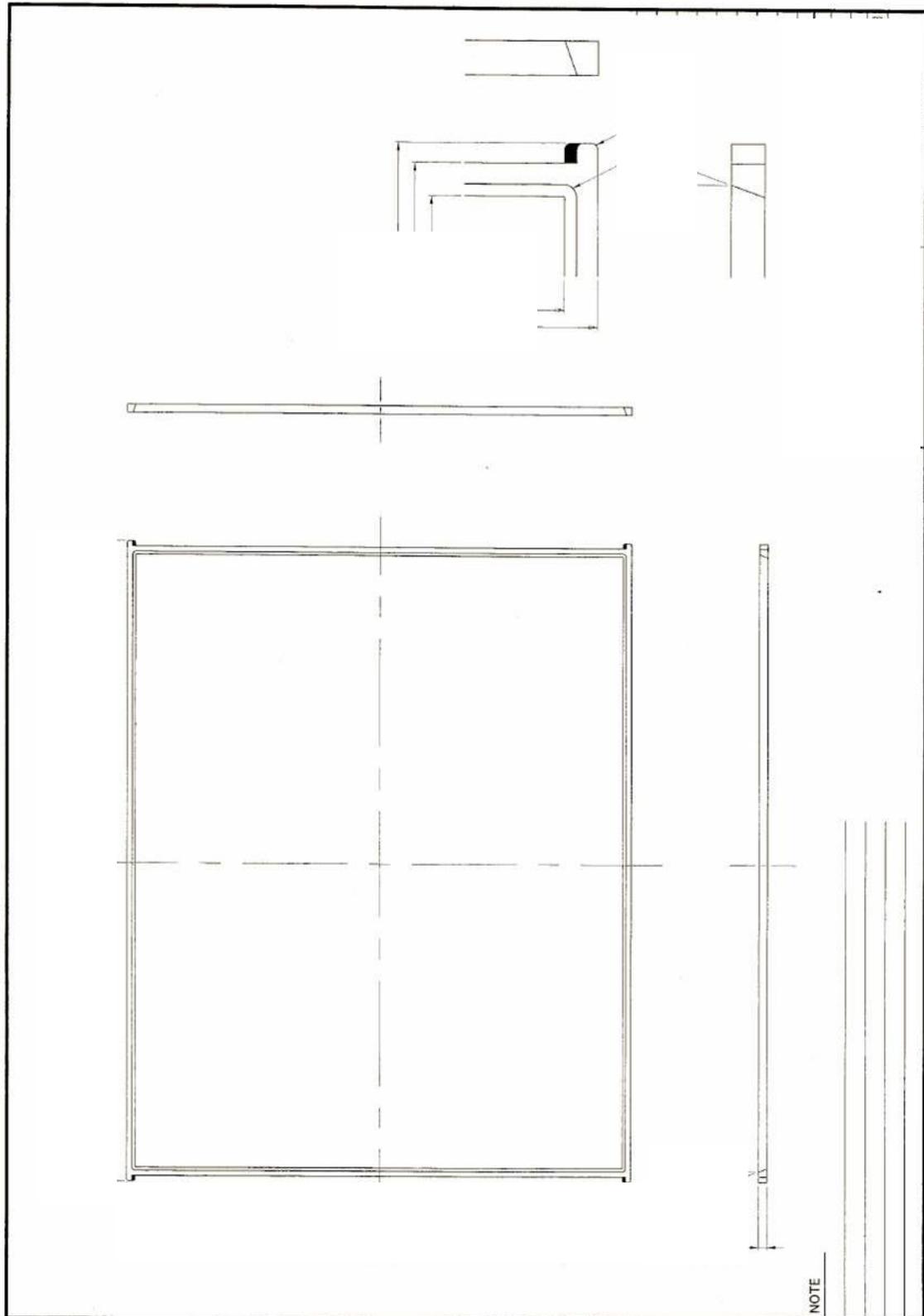


圖 3.1 邊框厚度為 4.8 mm 之設計圖

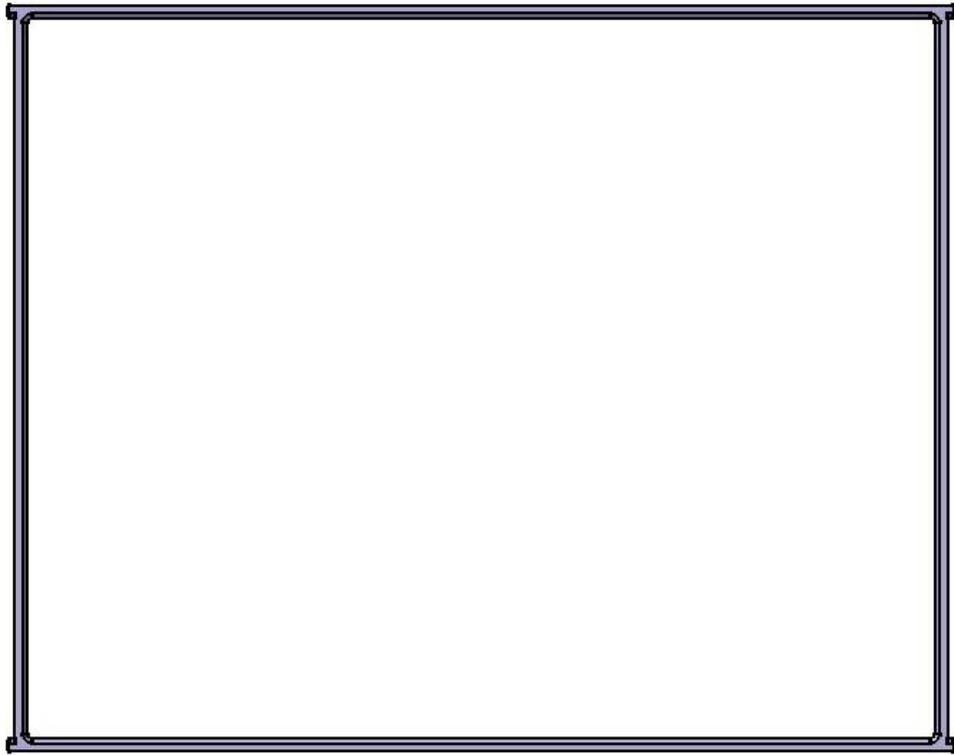


圖 3.2 邊框厚度為 4.8 mm 立體圖



圖 3.3 CNT-BLU 組合圖

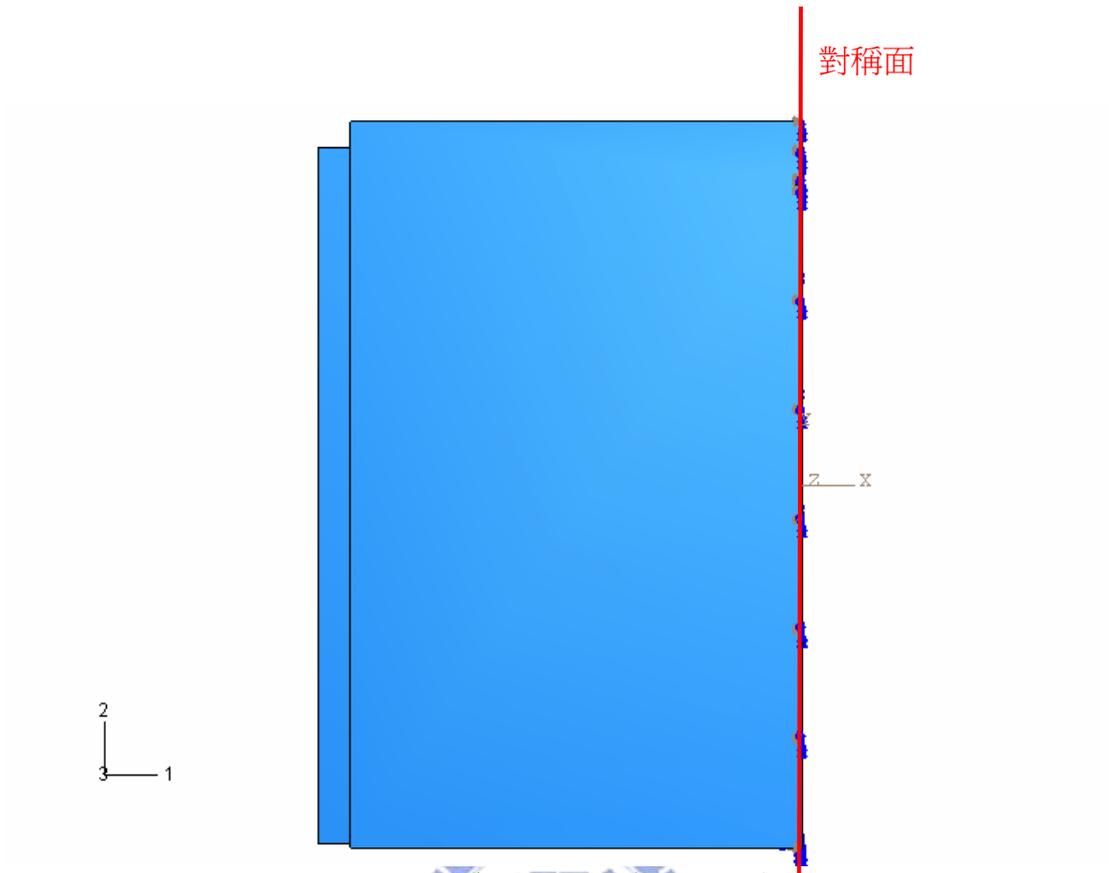


圖 3.4 邊界條件 (對稱面)

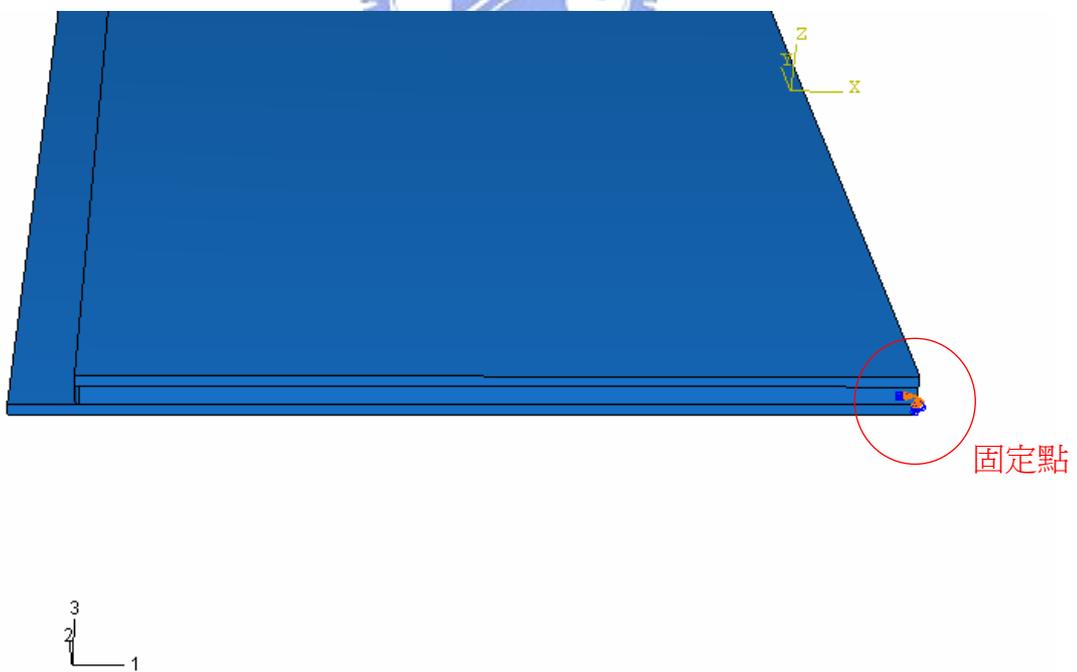


圖 3.5 邊界條件 (固定點)

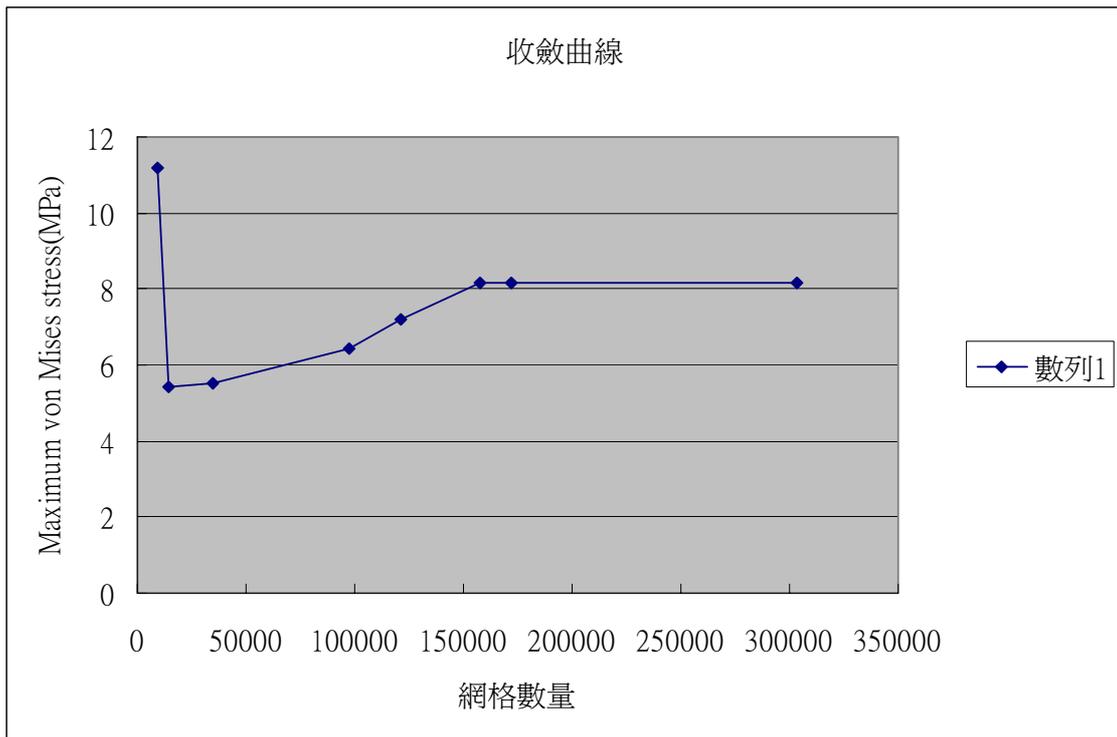


圖 3.6 網格數量收斂曲線

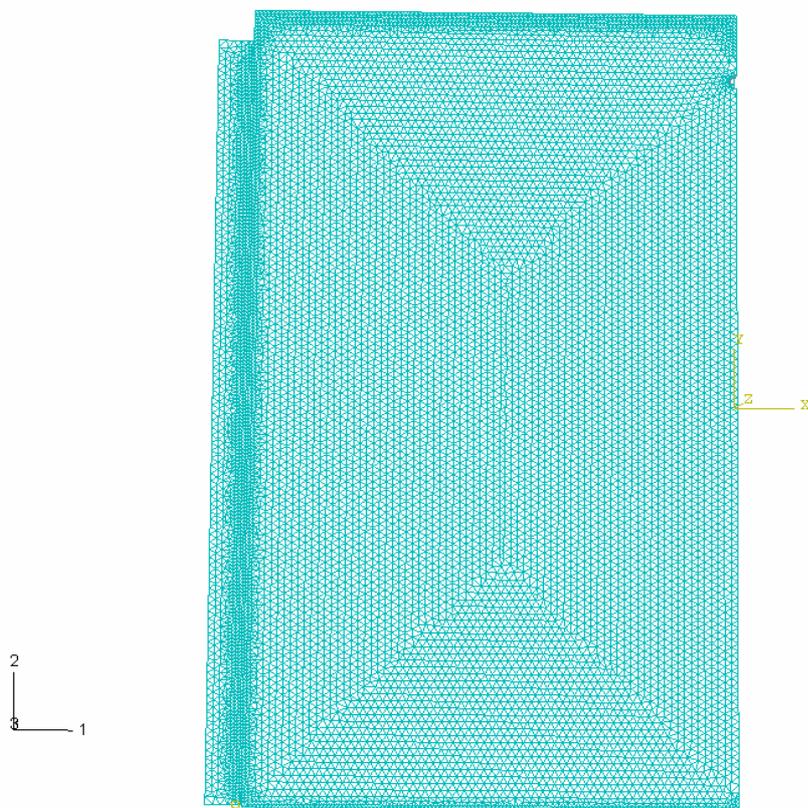


圖 3.7 網格圖

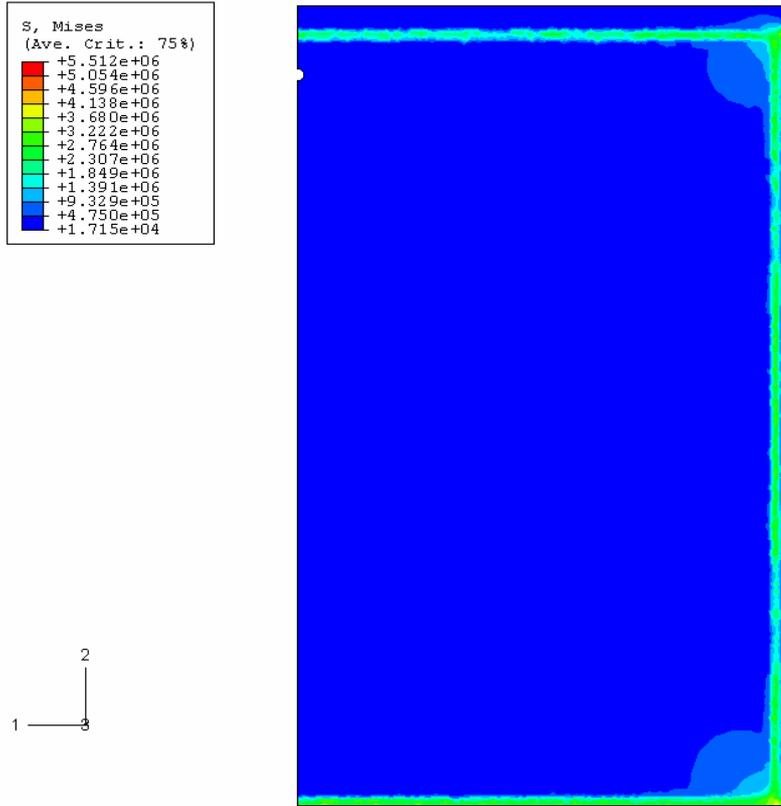


圖 3.8 Anode 板初步模擬應力分佈

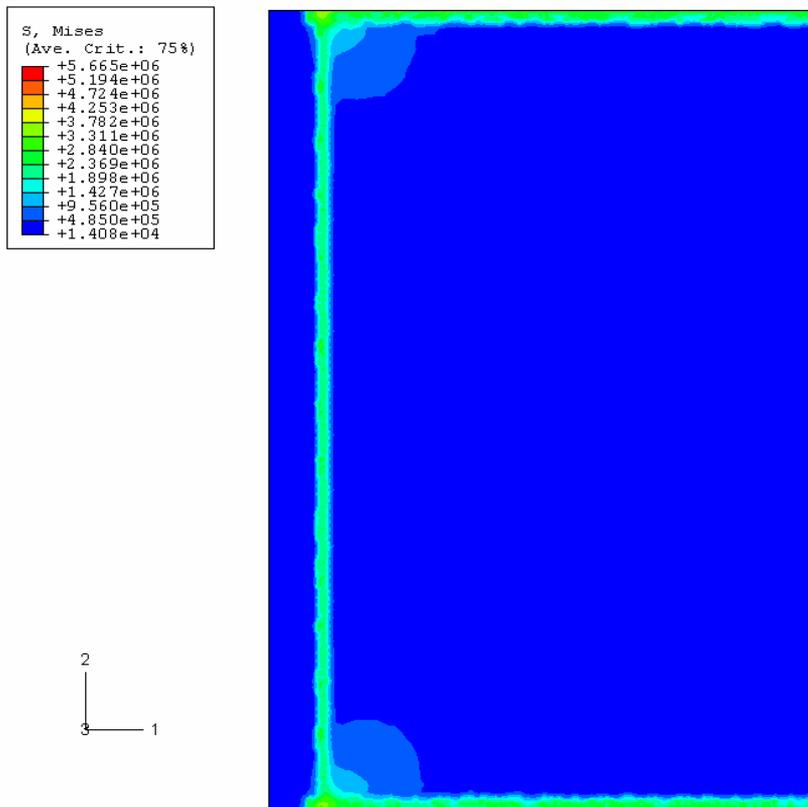


圖 3.9 Cathode 板初步模擬應力分佈

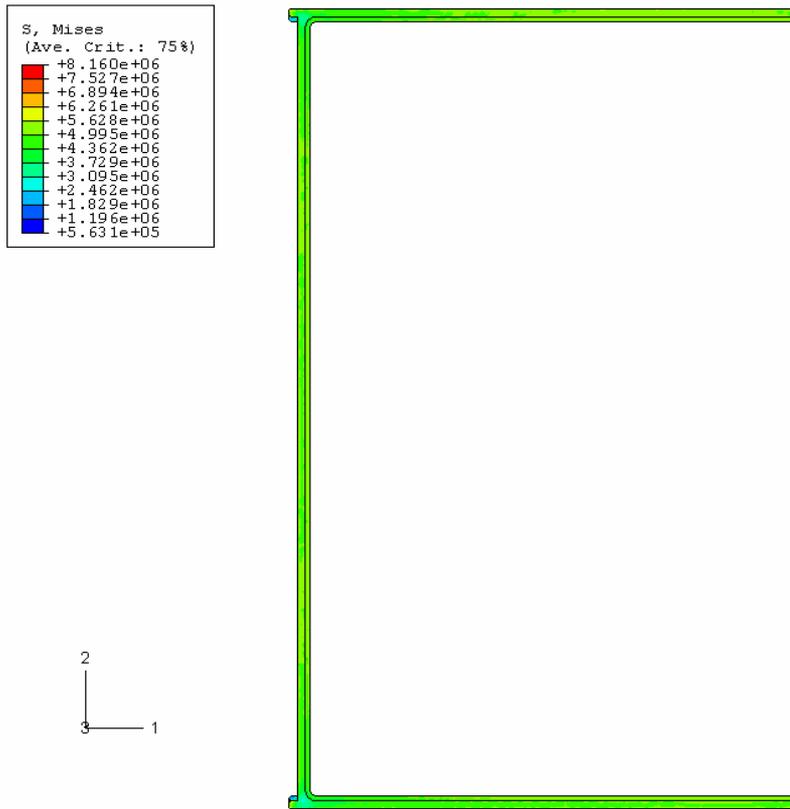


圖 3.10 邊框初步模擬應力分佈

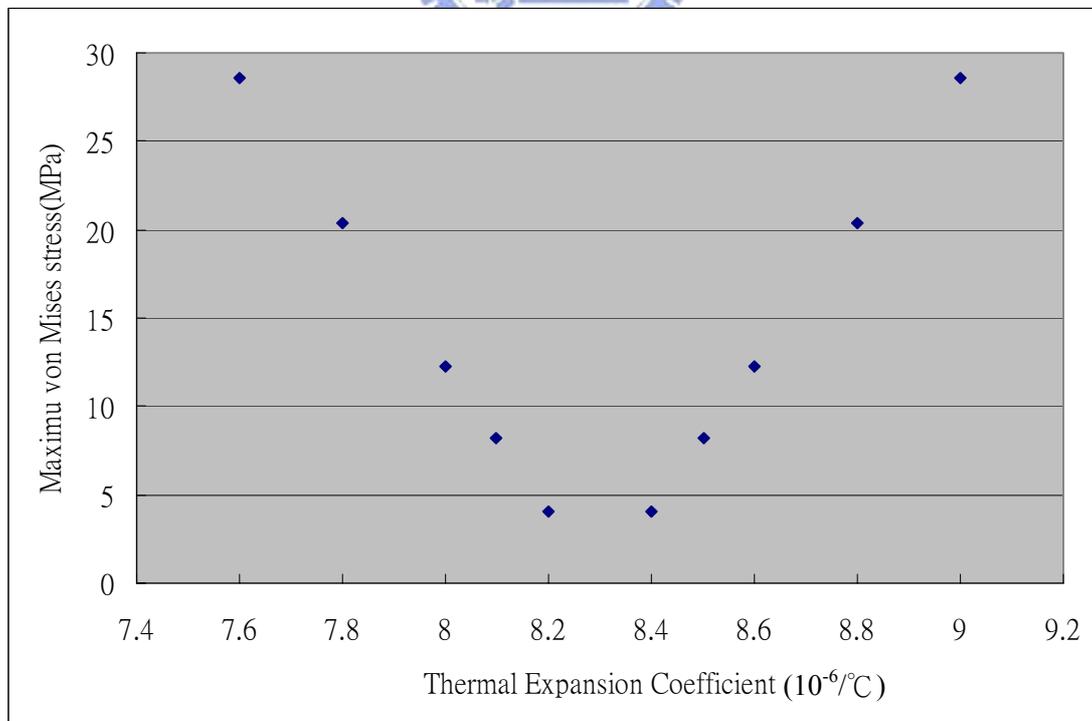


圖 3.11 膨脹係數與最大應力關係圖

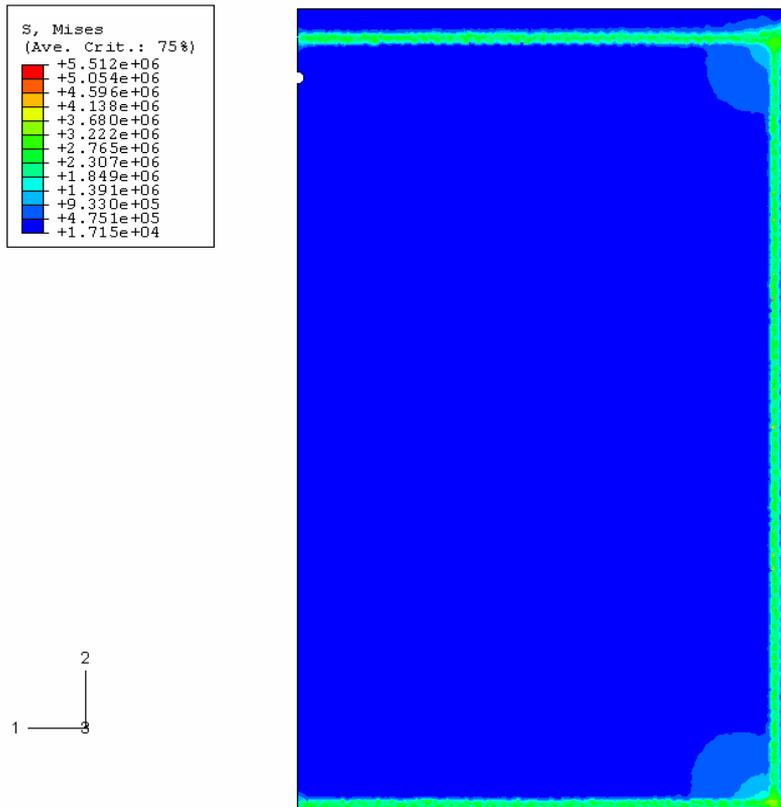


圖 3.12 Anode 板應力分佈圖 (以 Shell Element 建立玻璃粉層)

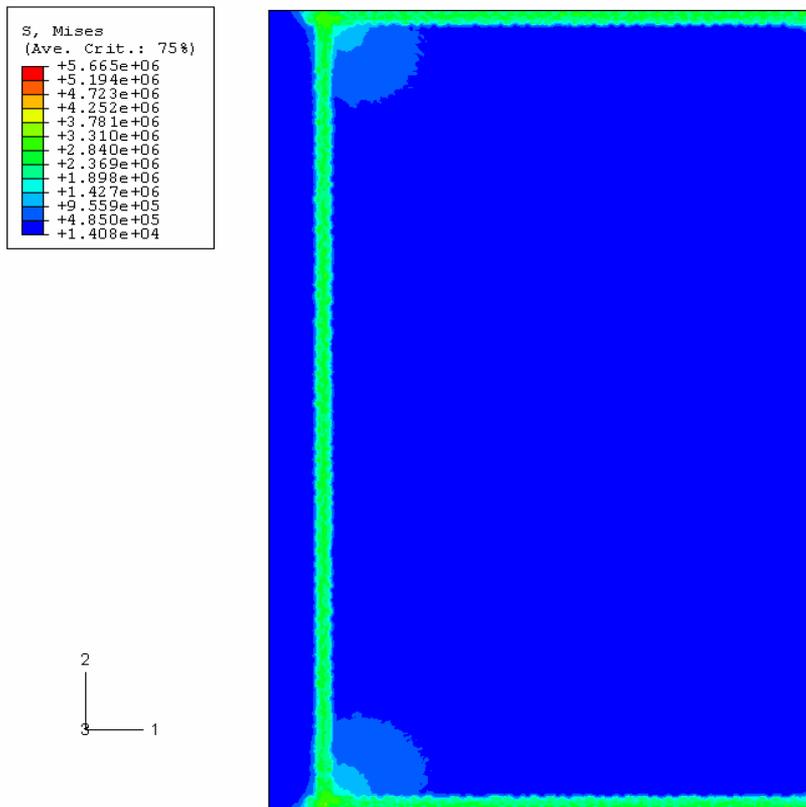


圖 3.13 Cathode 板應力分佈圖 (以 Shell Element 建立玻璃粉層)

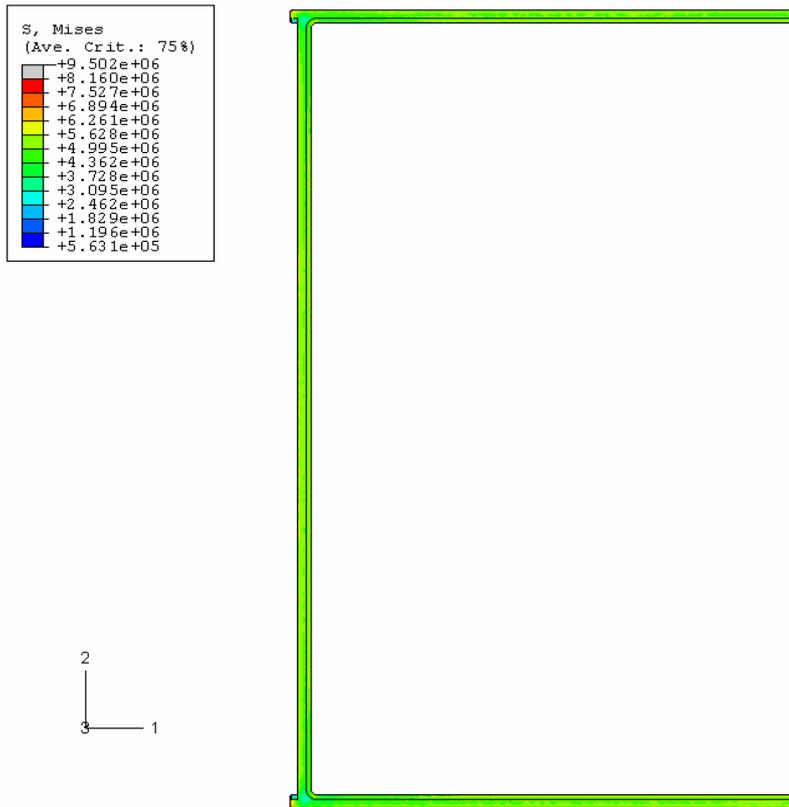


圖 3.14 邊框應力分佈圖 (以 Shell Element 建立玻璃粉層)

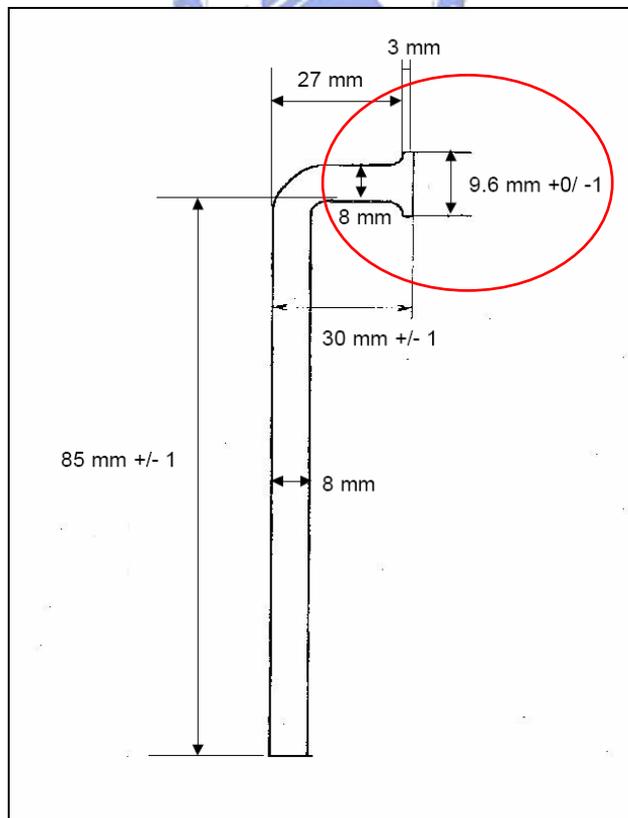


圖 3.15 20吋面板抽氣管之設計圖

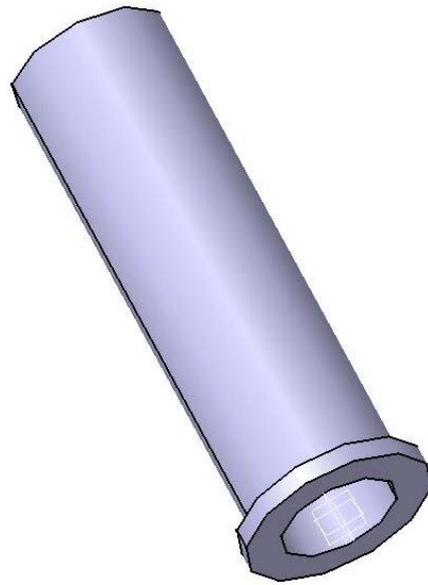


圖 3.16 20 吋面板抽氣管之立體圖

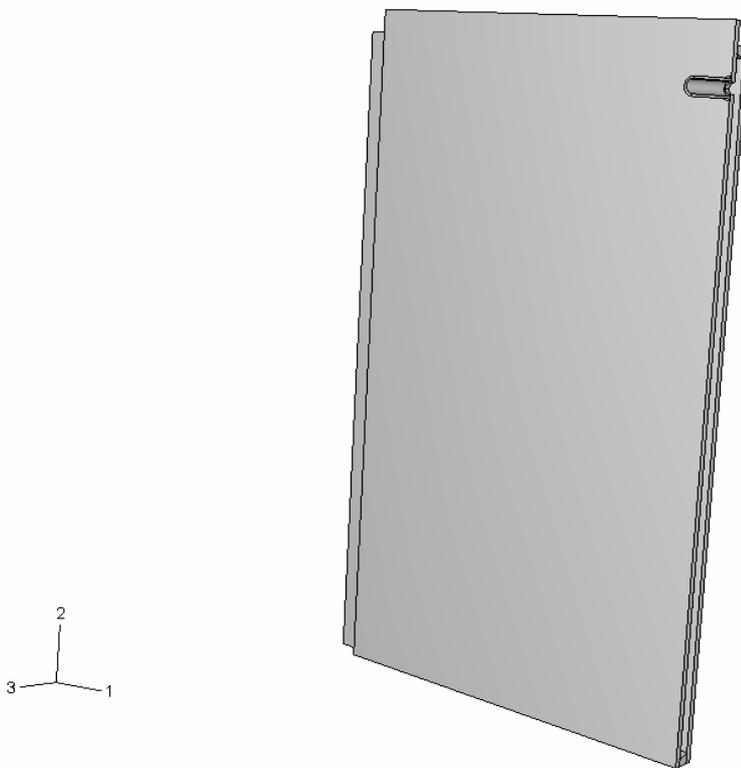


圖 3.17 CNT-BLU 組合圖 (含抽氣管)

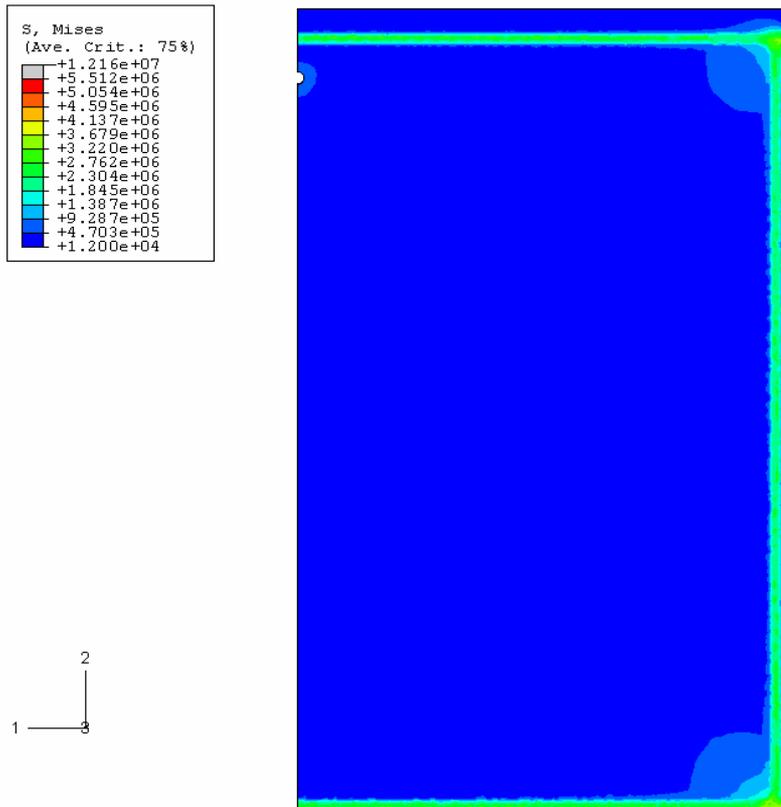


圖 3.18 加抽氣管之 Anode 板應力分佈 (背面)

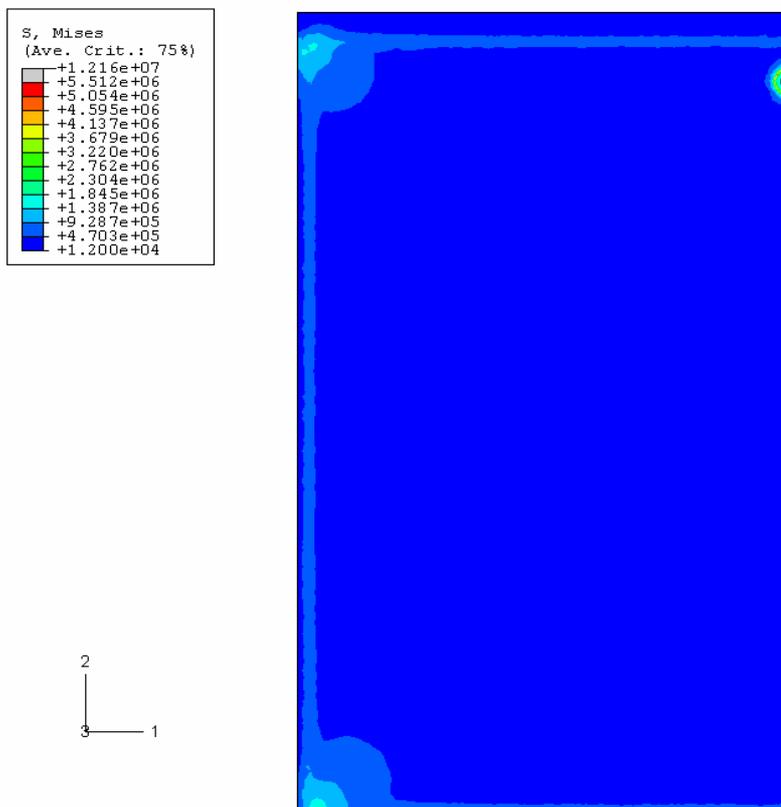


圖 3.19 加抽氣管之 Anode 板應力分佈 (正面)

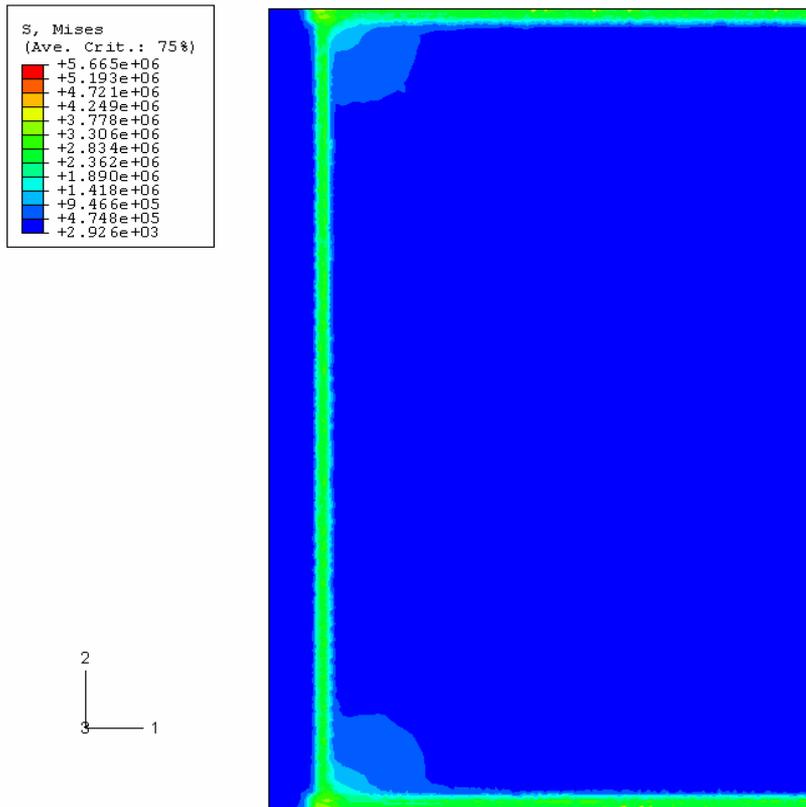


圖 3.20 加抽氣管之 Cathode 板應力分佈

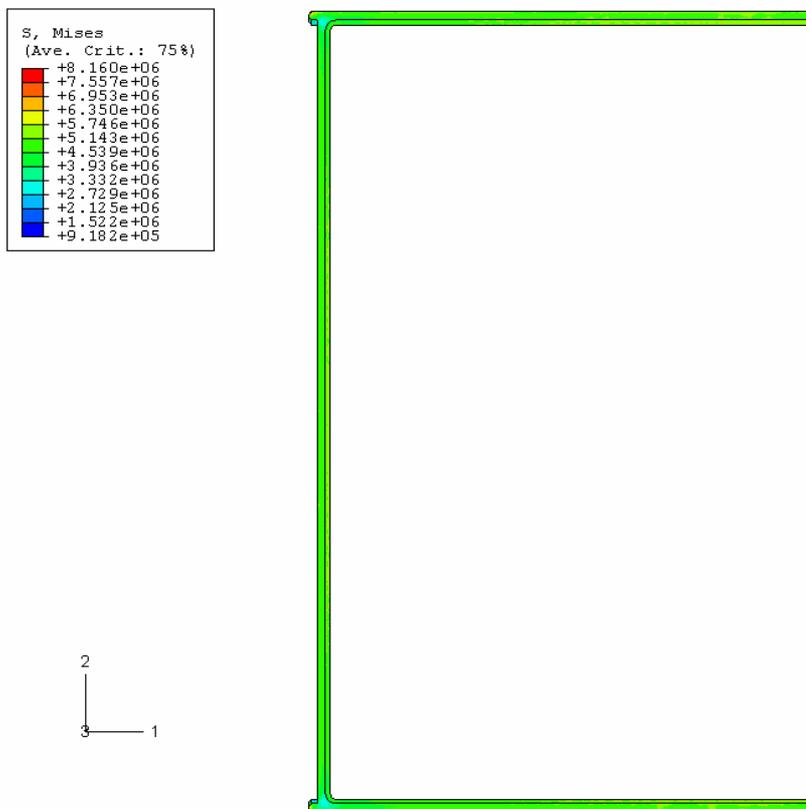


圖 3.21 加抽氣管之邊框板應力分佈

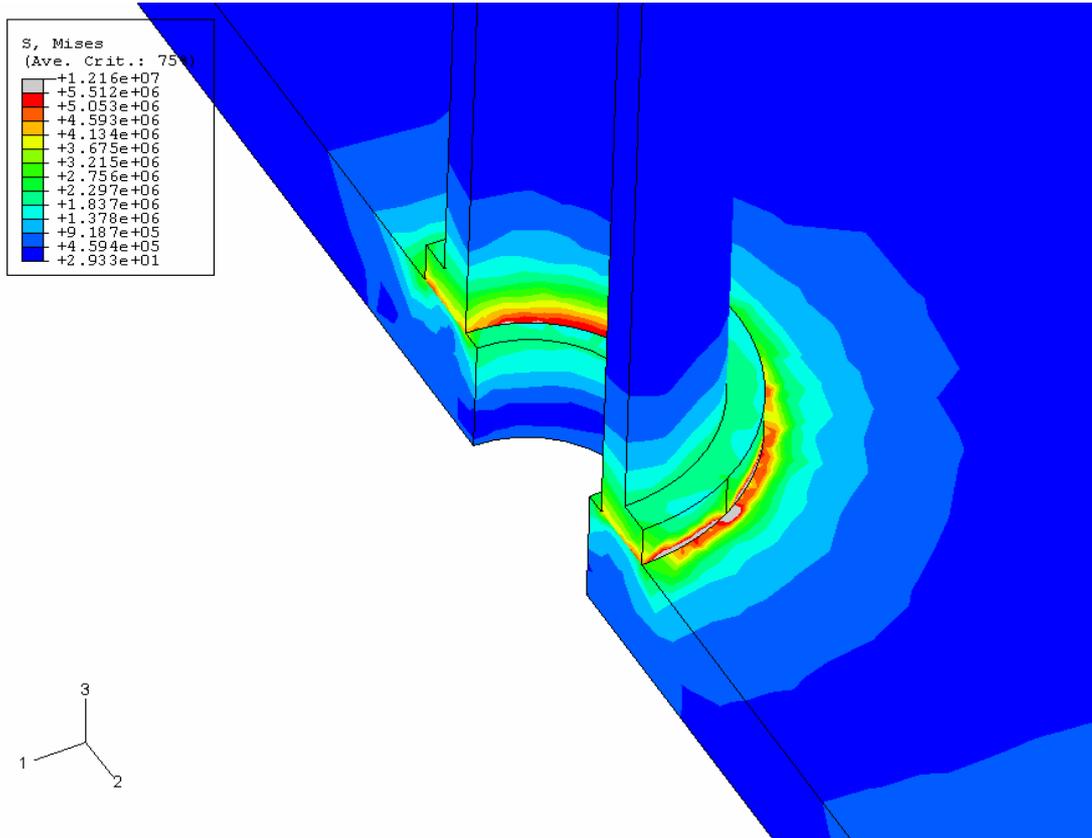


圖 3.22 抽氣管與 Anode 板相接處之應力分佈圖

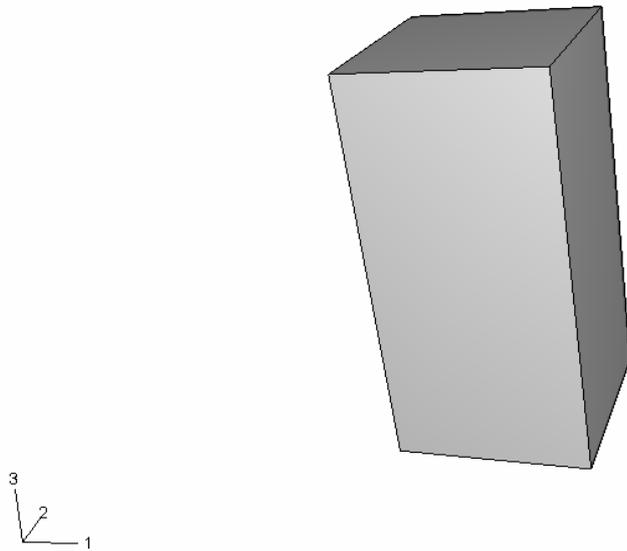


圖 3.23 單顆 Spacer 立體圖

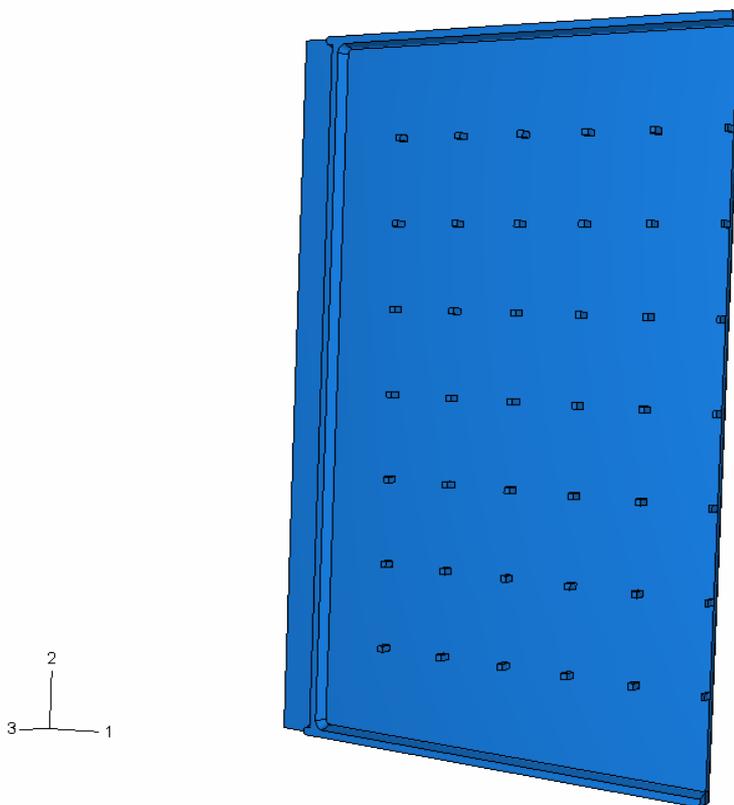


圖 3.24 Spacer 組合圖

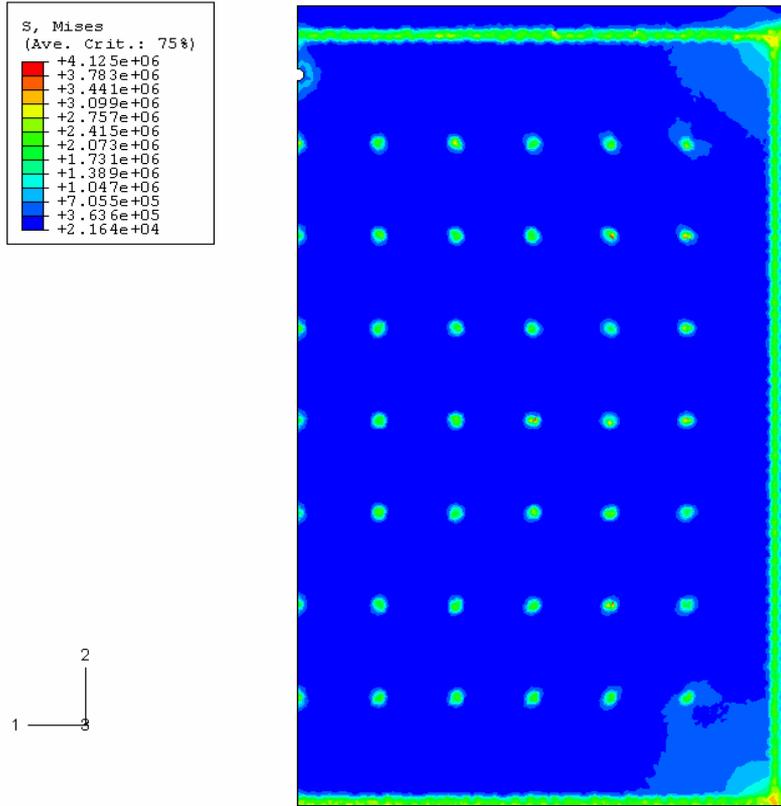


圖 3.25 Anode 板應力分佈 (含 Spacer 燒結後)

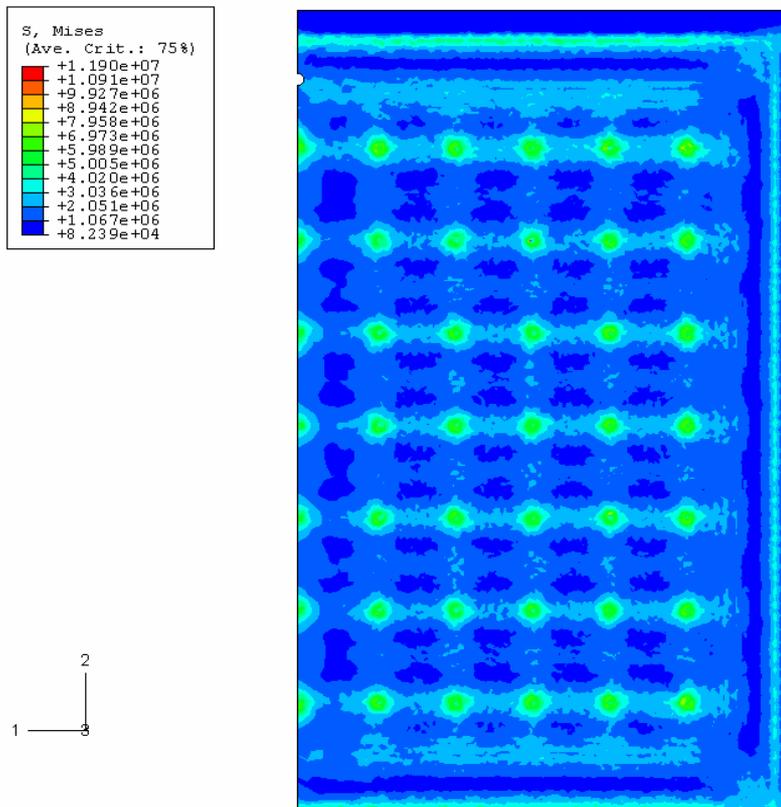


圖 3.26 Anode 板應力分佈 (抽真空後)

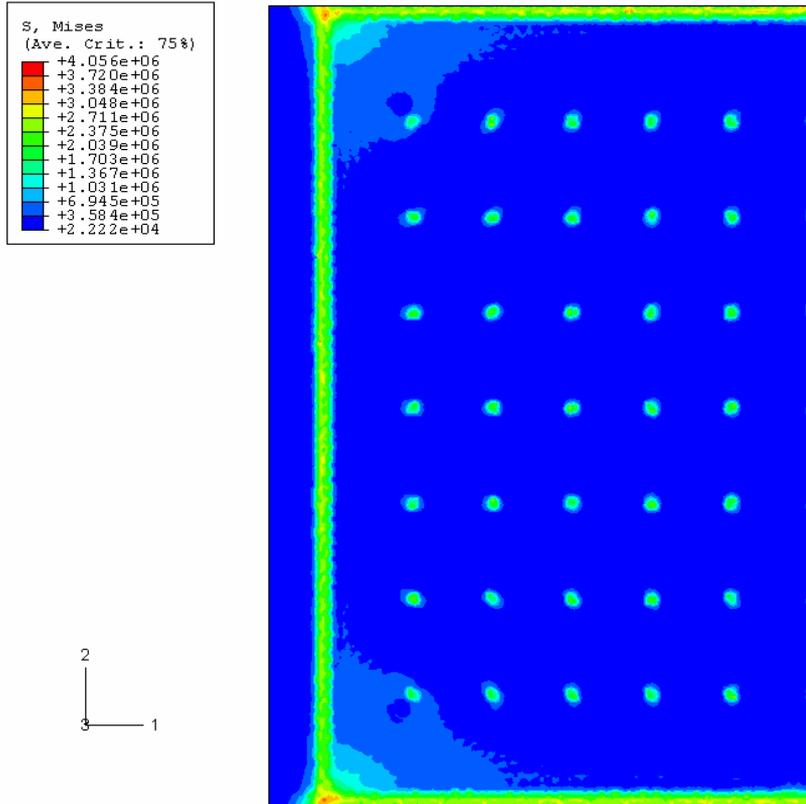


圖 3.27 Cathode 板應力分佈 (含 Spacer 燒結後)

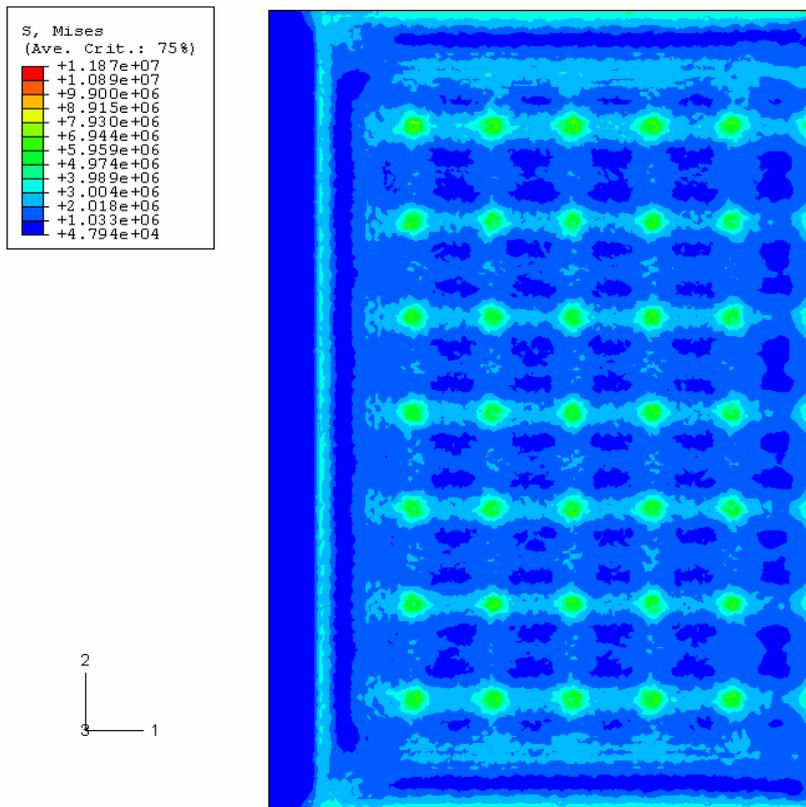


圖 3.28 Cathode 板應力分佈 (抽真空後)

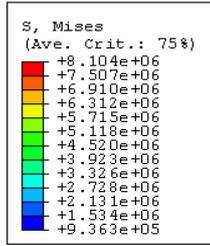


圖 3.29 邊框應力分佈 (含 Spacer 燒結後)

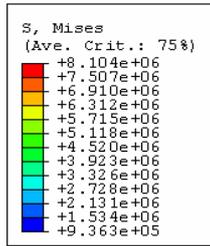


圖 3.30 邊框應力分佈 (抽真空後)

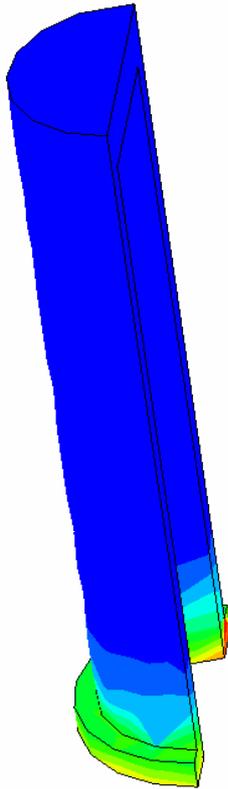
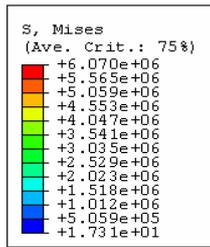


圖 3.31 抽氣管應力分佈 (含 Spacer 燒結後)

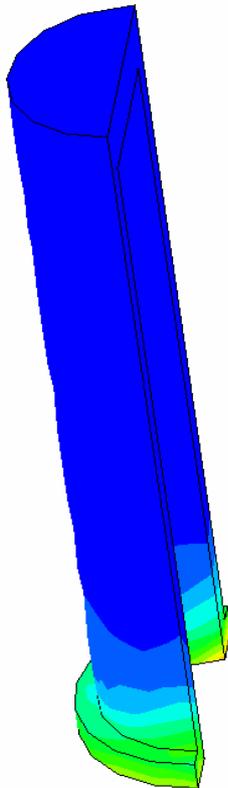
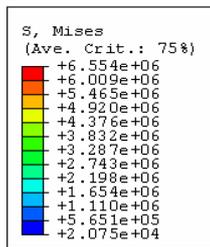


圖 3.32 抽氣管應力分佈 (抽真空後)

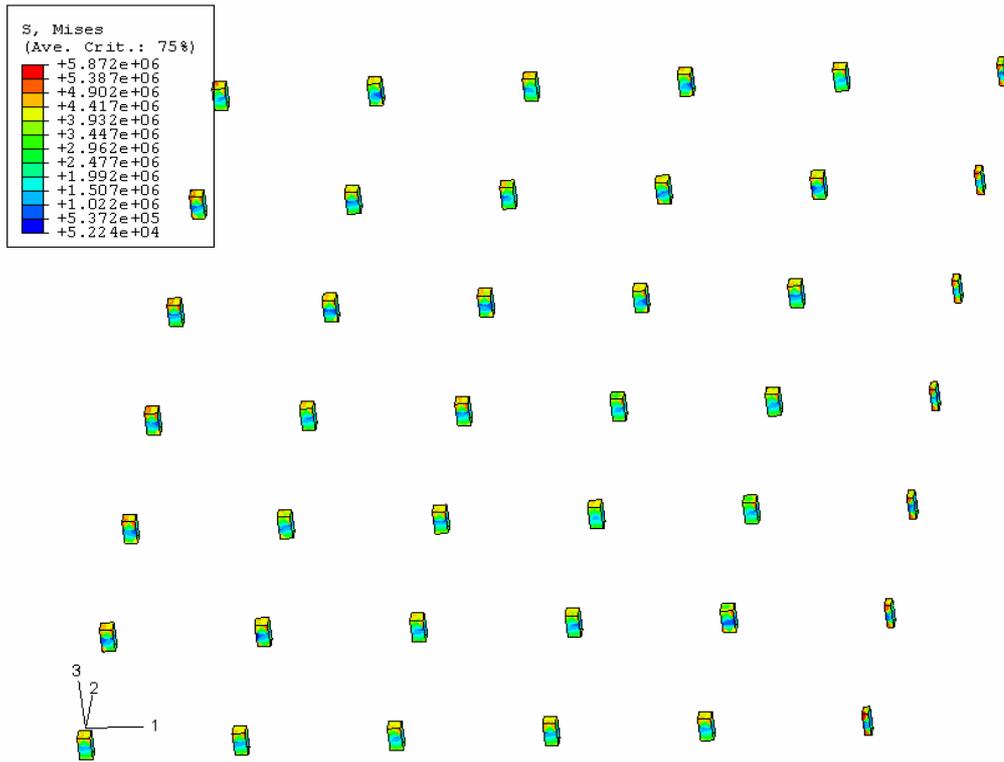


圖 3.33 Spacer 應力分佈 (含 Spacer 燒結後)

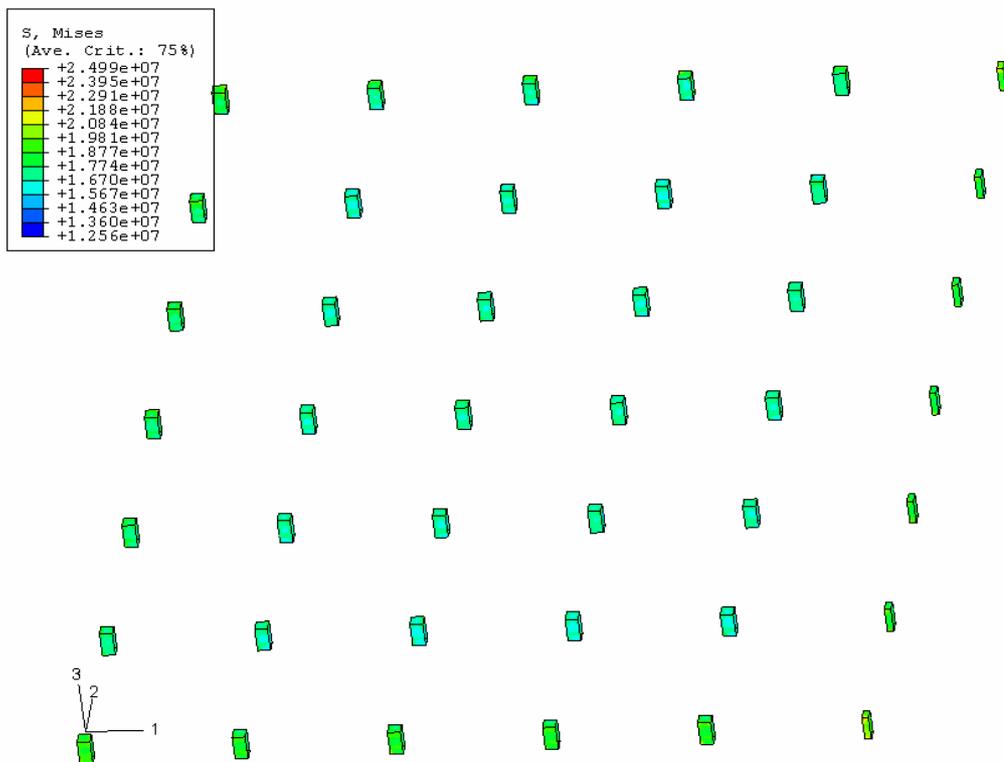


圖 3.34 Spacer 應力分佈 (抽真空後)

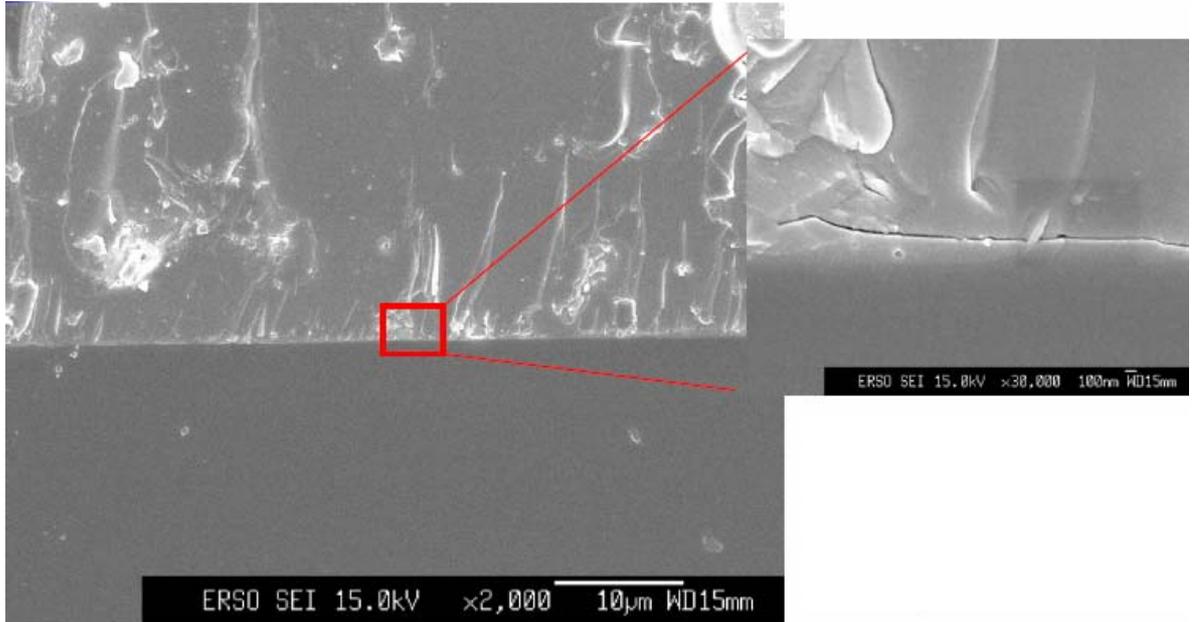


圖 3.35 玻璃粉接合間隙

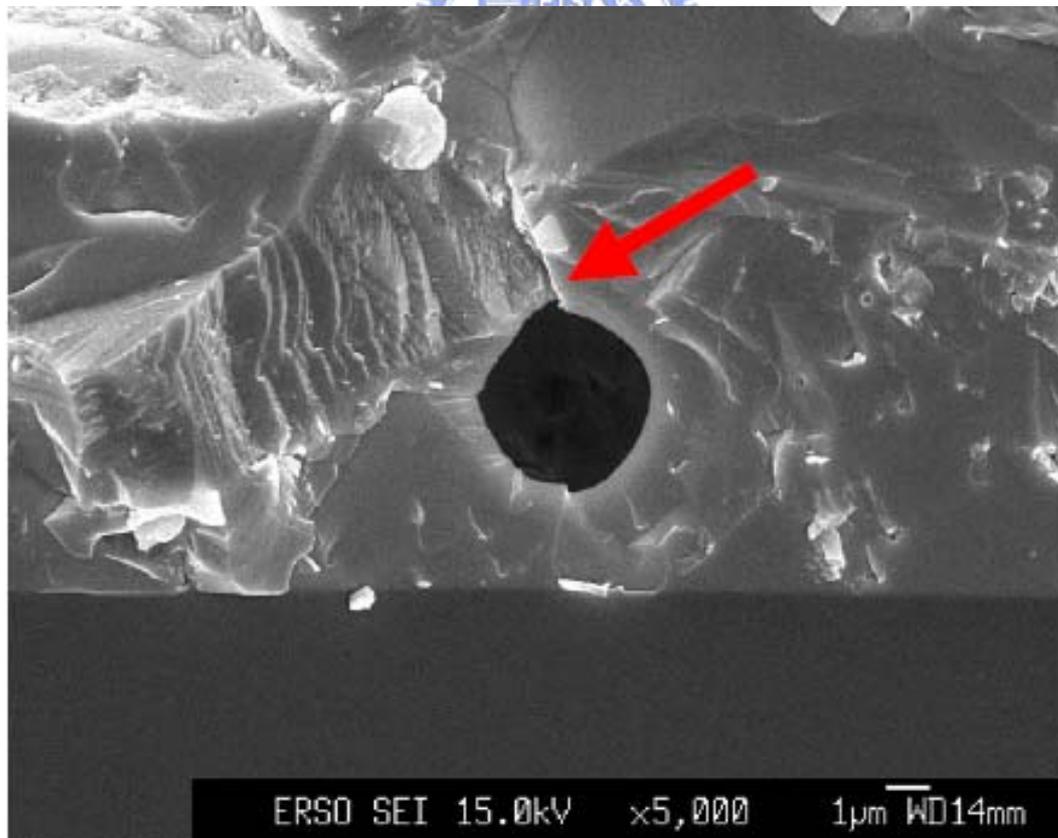


圖 3.36 玻璃粉內部氣孔

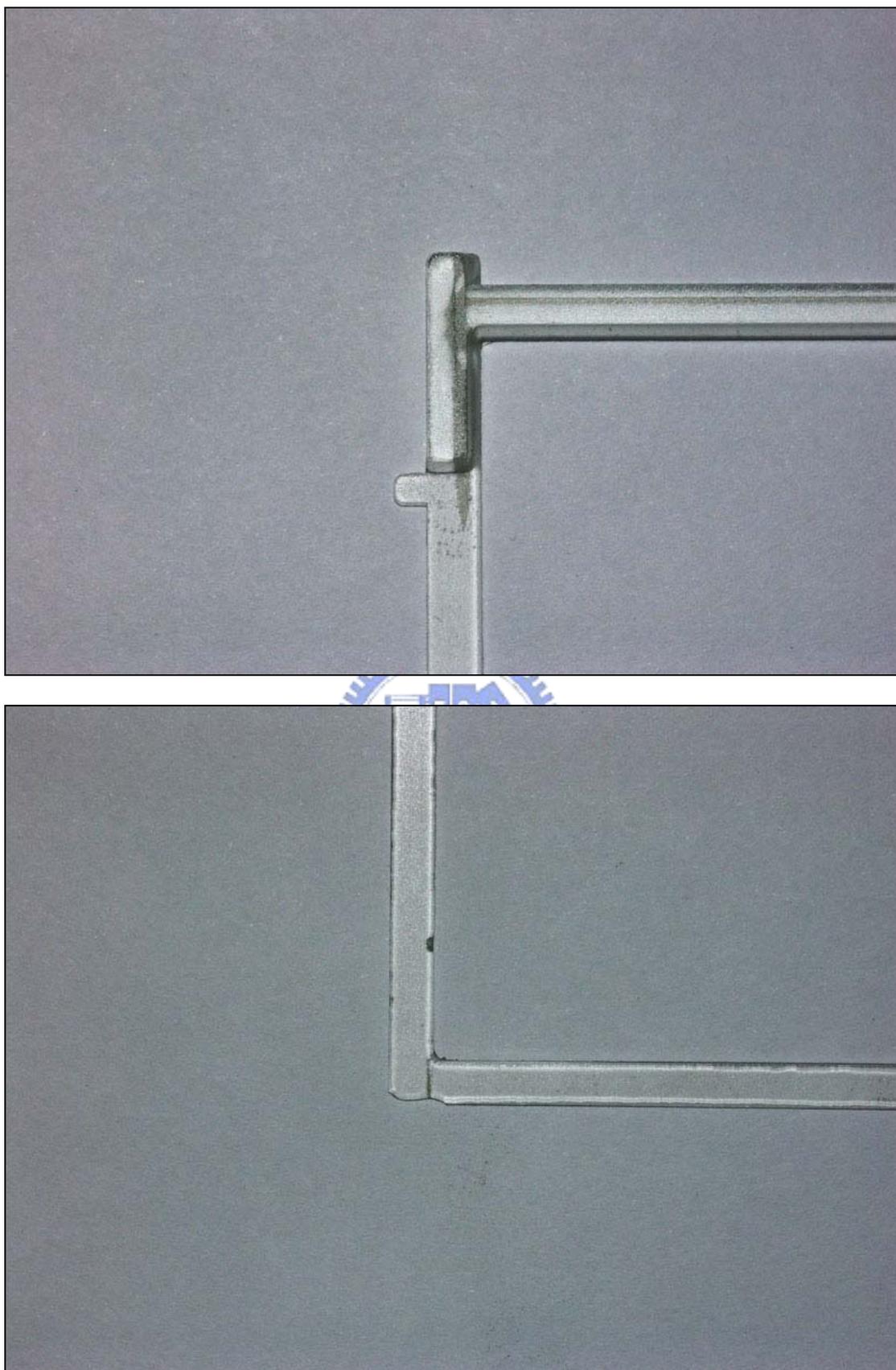


圖 3.37 邊框轉角處照片

## 第四章 CNT-BLU Spacer 之最佳設計

### 4.1 最佳化設計概述

最佳化的過程，首先是將原來的物理問題，經由轉換成為標準的數學模式，大致上來說可以分成以下三個步驟：

#### 1. 選定設計變數(Design Variable)：

對一工程問題而言，系統經由工程上之假設理想化的模式通常是由一組數量來描述，其中包括尺寸大小、材料特性、合成方式等不同的數量。在設計之初為了簡化問題，常將數量分成預定變數及設計變數兩種；預定變數在設計過程中是視為常數不予改變，而設計變數則是被允許改變的數量。通常設計變數之選取則取決於設計者的看法與經驗。

建立最佳化數學模式的第一步即是選定一組彼此之間互相獨立之變數，來做獨立的改變以改進設計。選擇一組合理的設計變數組合可縮短計算機之疊代時間，對問題結果之正確與否，亦相當重要。

#### 2. 確定限制條件(Constraints)

任何系統在設計、製造、操作上都具有程度不同的限制條件，這些限制條件一般是針對合理的物理現象而設定，必須以數學上所謂等式或不等式的模式來描述，通常稱之為限制函數，但是這些限制條件必須是設計變數之函數才有意義。

#### 3. 確立目標函數(Object Function)

在上述所提的限制條件之下，一個系統可能有許多組的合適解，為了確定目的，則需要有一些準則來比較不同設計解的設計系

統之優劣，即是確立目標函數作為判斷準則，以此為在設計過程中所欲達到的目的與目標。同樣的，目標函數亦須是設計變數之函數才具有意義。

## 4.2 最佳化的數學模式

1. 首先思考設計變數為何，且最後能做到目標函數最小。

$$f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (\text{Eq.1})$$

2. 滿足  $p$  組等式之限制條件

$$h_j(x) = h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad j = 1, 2, 3, \dots, p \quad (\text{Eq.2})$$

3. 以及  $m$  組不等式之限制條件

$$g_i(x) = g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0 \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (\text{Eq.3})$$

4. 設計變數之邊界條件

$$x_{kl} \leq x_k \leq x_{ku} \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (\text{Eq.4})$$

在確立最佳化之數學模式之後，便可以最佳化之數值方法求取最佳化解，大致上可分成以下六個步驟：

1. 設定一個合理的初值  $x^{(0)}$ ，並令  $k=0$ 。
2. 計算搜索方向  $d^{(k)}$  在無約束問題中，需要目標函數本身的值或其梯度的資料；而約束問題則需另外計算限制條件本身的值或其梯度的資料。利用此資料組成子問題，求解搜索方向  $d^{(k)}$ 。
3. 檢查是否收斂。若滿足收斂條件或設計變數被允許時則疊代停止，否則繼續下一步驟。
4. 計算步長大小  $\alpha_k$ ，在  $d^{(k)}$  方向求最佳之步長。
5. 設計變數之更新

$$x^{(k+1)} = x^k + \Delta x^k \quad (\text{Eq.5})$$

6. 設  $k=k+1$ ，回到步驟 2。

傳統在處理連續設計變數上，可以使用 The Sequential Quadratic Programming(SQP) Method。而在不連續變數最佳化問題，The Branch and Bound Method 是廣為所知並使用的解決法。在工件的結構、外形設計上，可以用拓樸最佳化，依照所給予的原始外形，削減不必要的部份。

而在一般的工程最佳化問題中，設計者每每在模糊的環境下作決定，此種模糊性與以明確數學定義的數學規劃法並不能完全配合。在這種問題之下，可以使用田口法配合模擬軟體或實驗去解決。

### 4.3 Spacer 之最佳化設計

由於本研究在抽真空時，Spacer 上之最大應力比其他元件大將近兩倍，因此接下來的模擬將會以降低 Spacer 上之應力為目標。選取 Spacer 的形狀、位置、數目與面板的總接觸面積分別為設計變數來進行模擬。

在 Spacer 的最佳化設計上，由於每次改變 Spacer 的設計變數時，便需要人工作業重新建立有限單元模型，無法進行自動的最佳化設計。所以只能在有效率的情況之下，選取幾組不同的參數來進行模擬，以求出最佳化設計之趨勢。

下列針對不同的情形進行討論：

#### 1. 整體(完整)分析

##### I. 僅改變 Spacer 擺設位置

在 3.7.3 節中提到，越靠近中間對稱面的 Spacer 有越大的應力值，因此在改變 Spacer 擺設位置時，嘗試將 Spacer 往中間對稱面靠近。圖 4.1 為原始的平均分佈情形，圖 4.2

至圖 4.4 為三組改變 Spacer 間距的模擬結果，而其間距的比例如圖上的紅色數字所示。將這幾組不同分佈位置的結果整理如圖 4.5，觀察其結果可發現在這此條件下，改變的 Spacer 位置對於 Spacer 上的應力值沒有多大的減少，甚至會造成 Anode 板或 Cathode 板上的應力值增加。

## II. 總接觸面積不變，Spacer 數目與大小的影響

接著以改變 Spacer 數量，意即在總接觸面積不變，改變 Spacer 大小來進行模擬，圖 4.6 至圖 4.11 為不同個數的模擬結果，其 Spacer 的分布方式為平均分布。觀察圖 4.12 的曲線可發現：

- (1) 增加 Spacer 的個數時，由於 Spacer 的間距變小許多，因此可使 Anode 板、Cathode 板與邊框上的應力降低。且由於應力可分散在更多數量的 Spacer 上，所以 Spacer 上的應力也會降低，但若增加的數量過多，則會導致單一個 Spacer 的尺寸過小，應力會有些許的上升。
- (2) 減少的 Spacer 個數時，若減少的個數不多則因為 Spacer 的尺寸變大因此應力會下降，但減少的個數多則應力就會上升。而 Anode 板、Cathode 板與邊框的部份，由於減少個數會增加 Spacer 的間距，因此不論減少的數量為何應力值皆會上升。

## III. 改變總接觸面積

改變總接觸面積模擬的目的為，在於合理的範圍下能減少材料的消耗，以達成縮減成本的目的。

圖 4.13 至圖 4.17 為不同面積下的模擬結果，圖 4.18 則繪出總接觸面積和應力的關係曲線圖，可以看出總接觸面積和應力值為負相關。但若對於 Anode 板與 Cathode 板而言，當面積為 80%時有較小的應力值。

## 2. 局部分析—Spacer 之最佳截面形狀

原本的設計是使用截面為方形的 Spacer，而方形由於形狀的關係，在角落的地方會產生應力集中的現象，並不是個好選擇。但因為詳細考慮 Spacer 的幾何形狀時，網格數目上必須增加很多，才能完整呈現 Spacer 形狀。由於電腦設備的關係，依原本的模型再去加密 Spacer 網格，系統會負荷不了，所以只能取局部來加密分析，在此僅以一個 Spacer 為範圍，在接觸面積不變而形狀改變的情況下探討方形、圓形以及十字形之 Spacer 的差異。

圖 4.19 為方形的應力分佈，最大應力為 96.2MPa，因為只考慮一個 Spacer，在附近沒有其他 Spacer 和邊框支撐下，應力會較先前章節所模擬的大，因此應力的數值沒有意義僅供比較大小。圖 4.20 為圓柱體的 Spacer，最大應力為 57.3MPa，由於圓形在幾何形狀上沒有轉折處，應力明顯比方形的小。而圖 4.21 為截面是十字形的柱體，最大應力為 113.7MPa，比方形大一些，不過在考慮面板 Pixel 間可以放置的範圍，十字的表面積可容許的放置範圍會比方形的大上許多。

除了上述固定接觸面積下，方形、圓形、十字形 Spacer 的模擬分析外，還可利用拓樸最佳化的方法來求取其他更合適的 Spacer 幾何形狀。

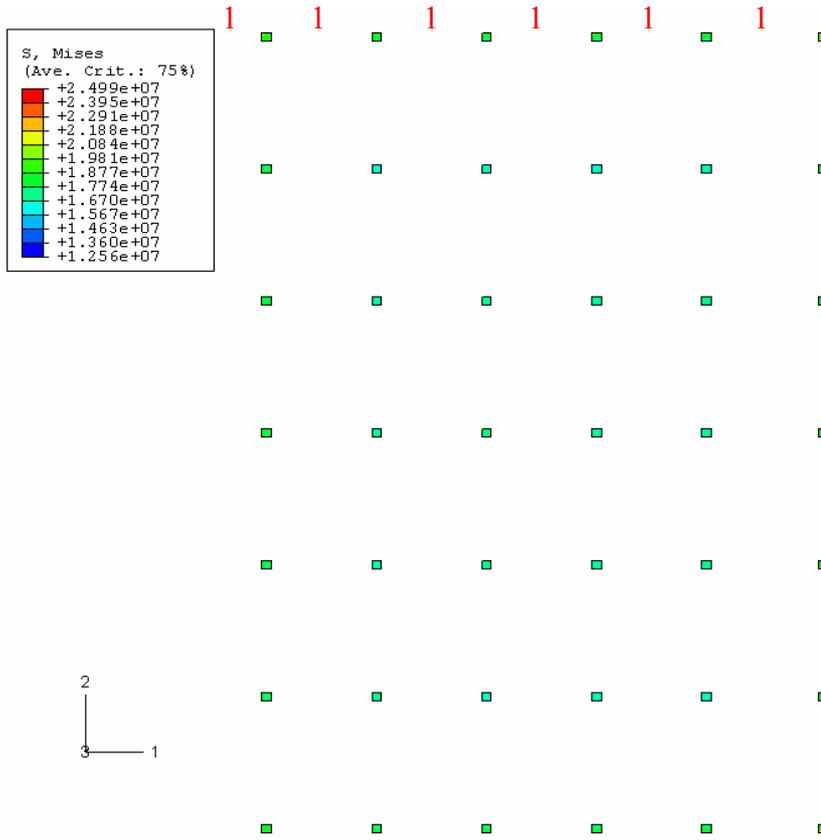


圖 4.1 改變 Spacer 位置—原始

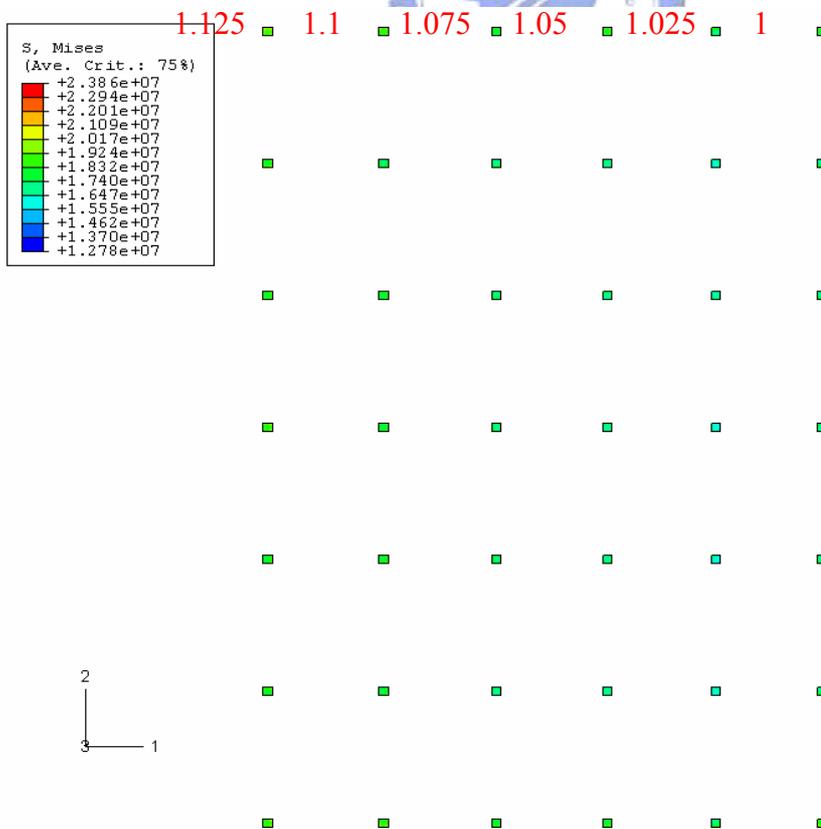


圖 4.2 改變 Spacer 位置—1

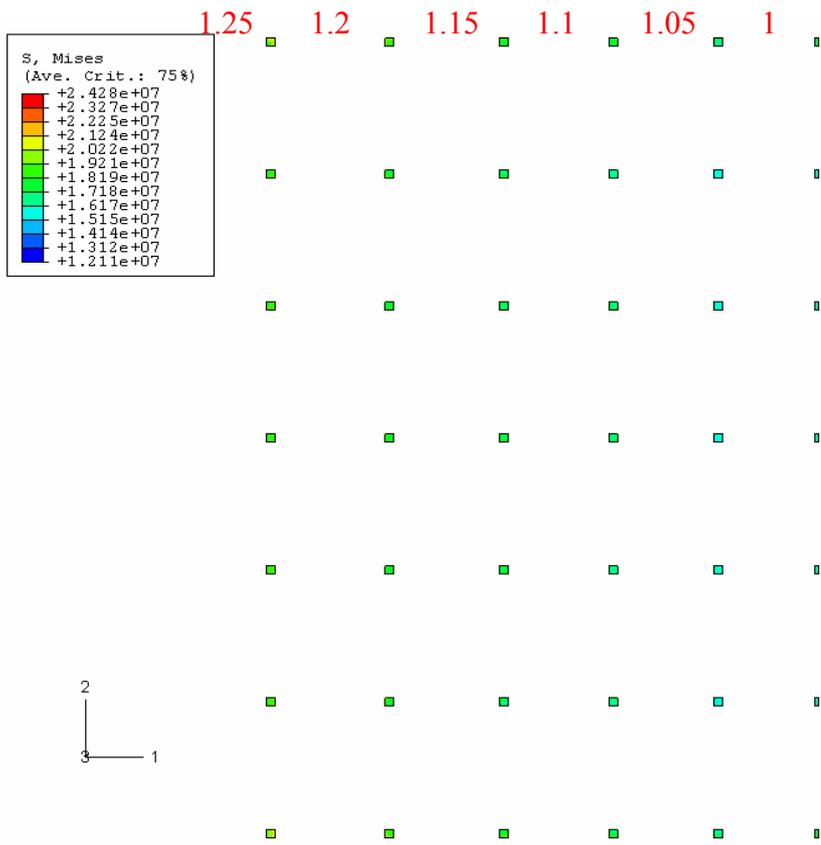


圖 4.3 改變 Spacer 位置-2

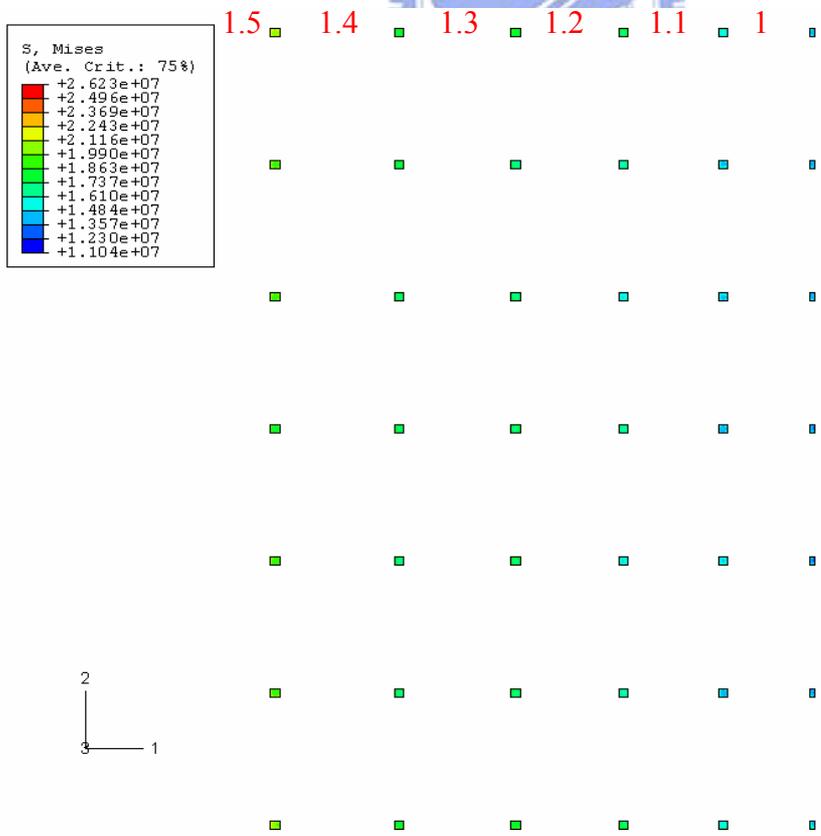


圖 4.4 改變 Spacer 位置-3

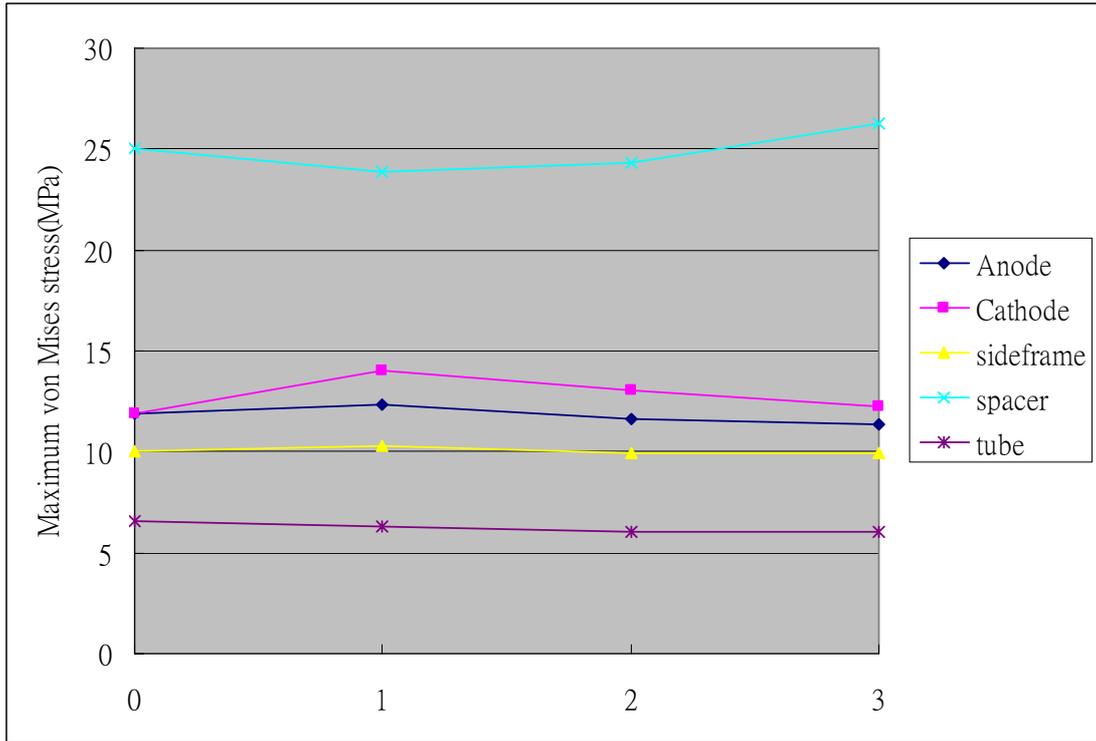


圖 4.5 改變 Spacer 位置模擬結果

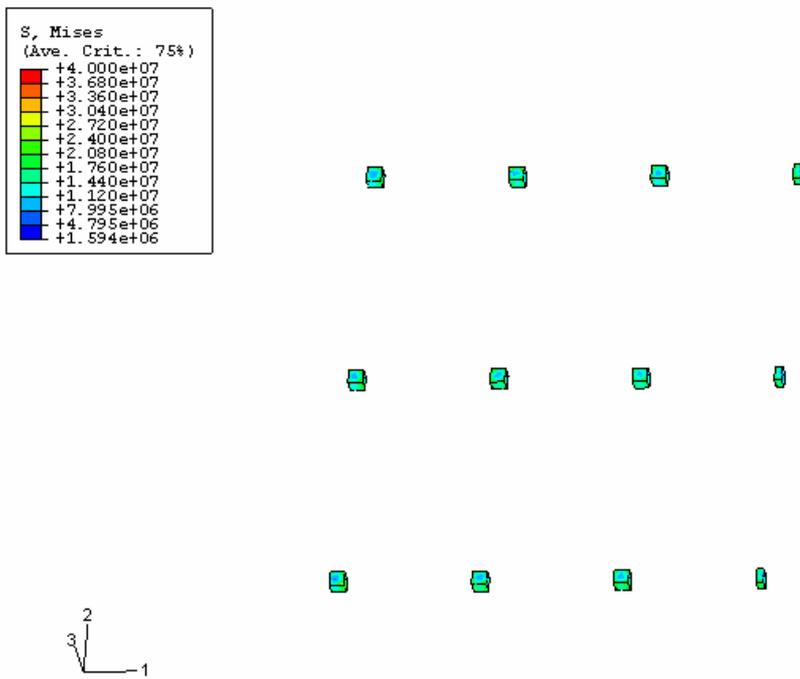


圖 4.6 改變 Spacer 數量—21 個

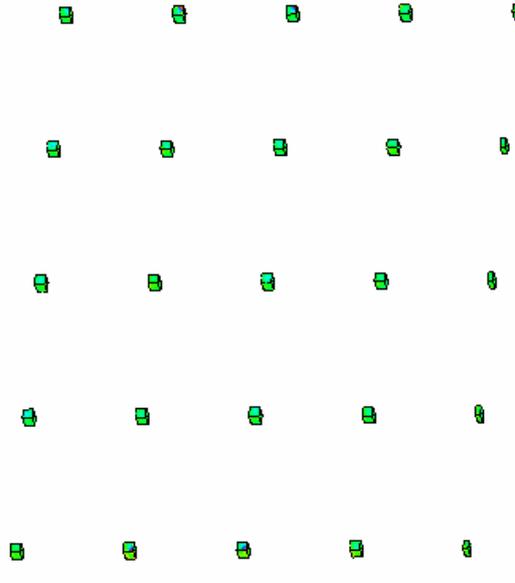
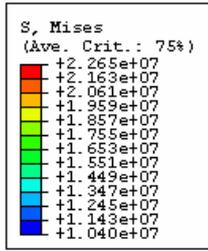


圖 4.7 改變 Spacer 數量—45 個

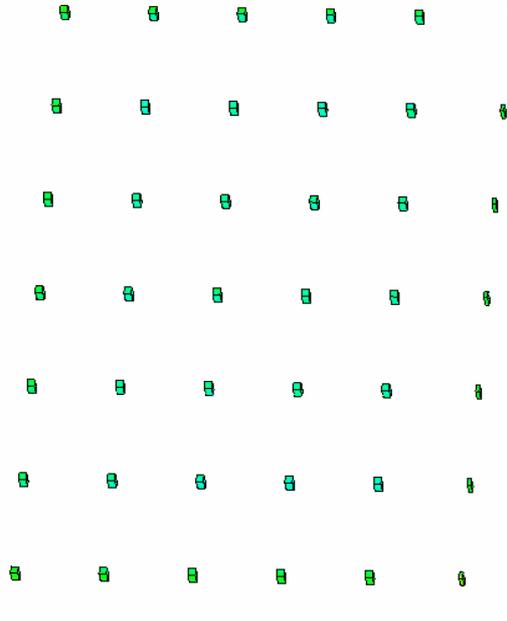
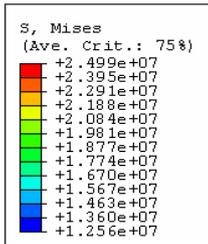


圖 4.8 改變 Spacer 數量—77 個 (原始個數)

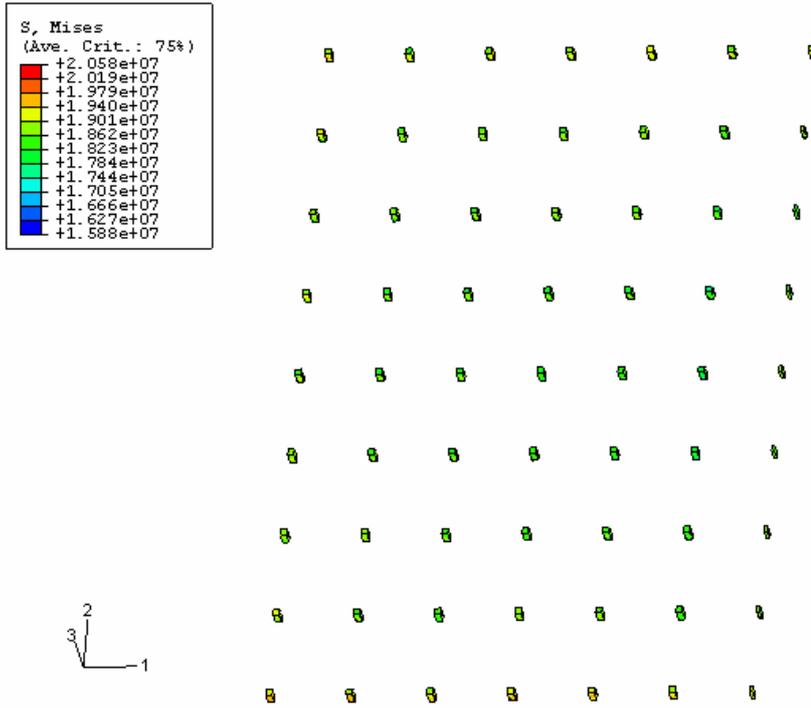


圖 4.9 改變 Spacer 數量—117 個

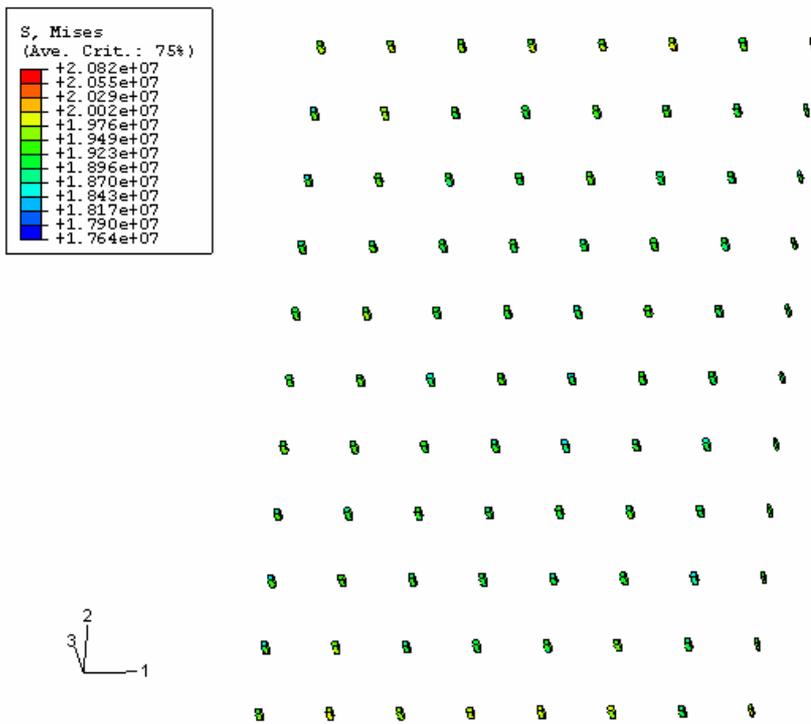


圖 4.10 改變 Spacer 數量—165 個

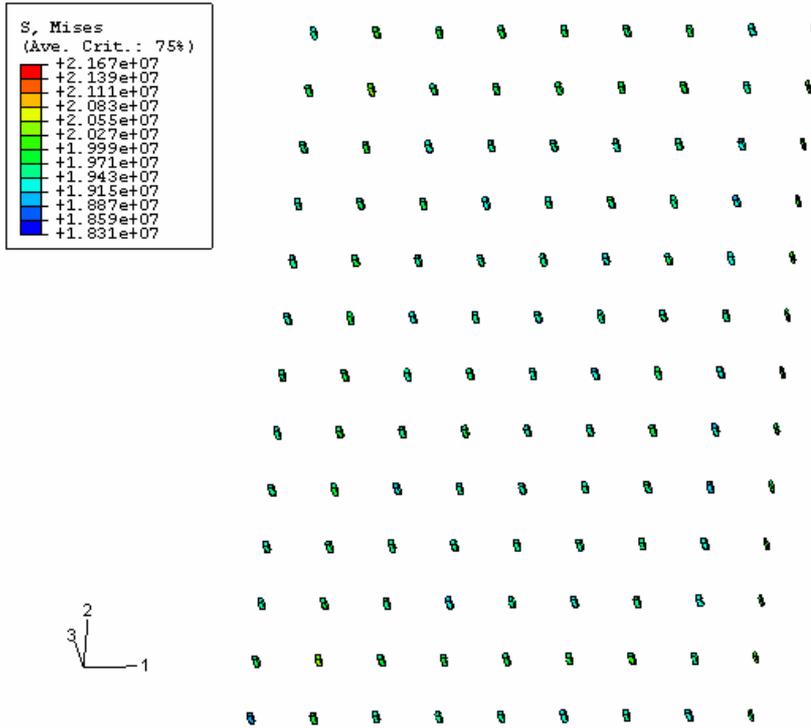


圖 4.11 改變 Spacer 數量—221 個

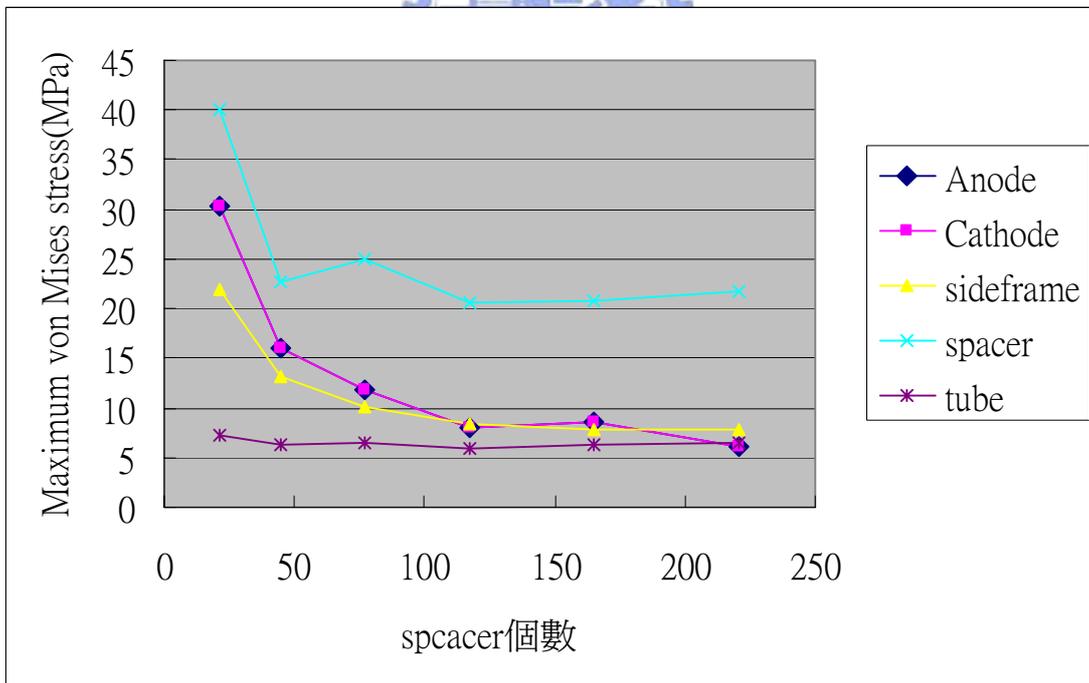


圖 4.12 Spacer 個數—最大應力曲線圖

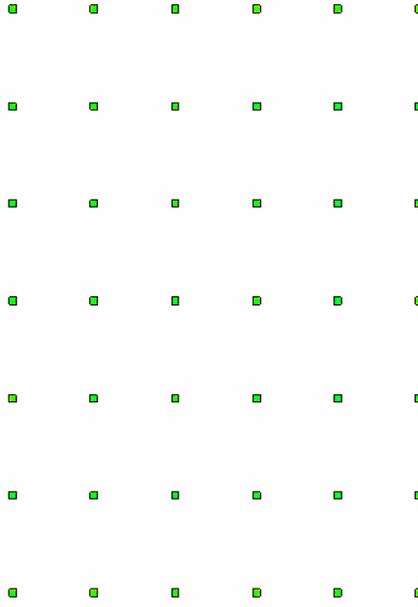
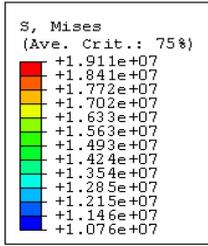


圖 4.13 改變總接觸面積—120%

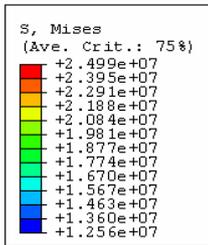


圖 4.14 改變總接觸面積—100%

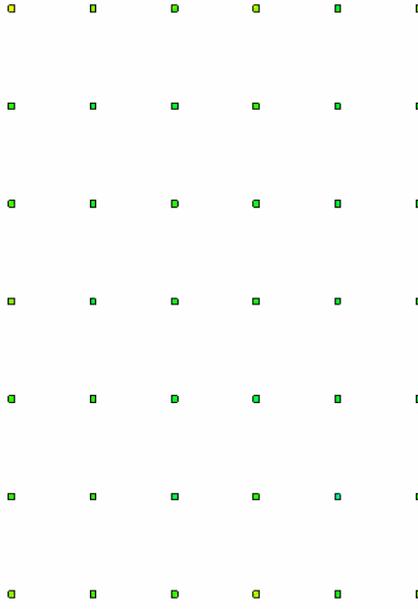
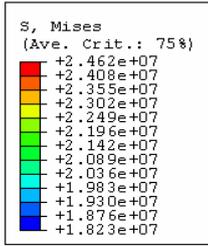


圖 4.15 改變總接觸面積—80%

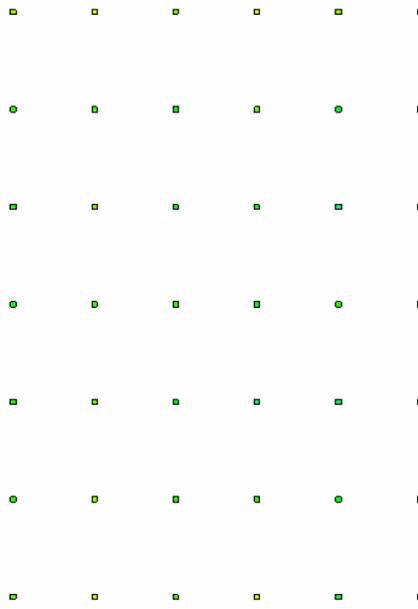
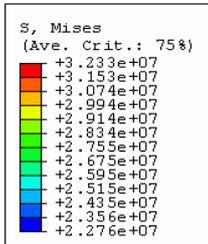


圖 4.16 改變總接觸面積—60%

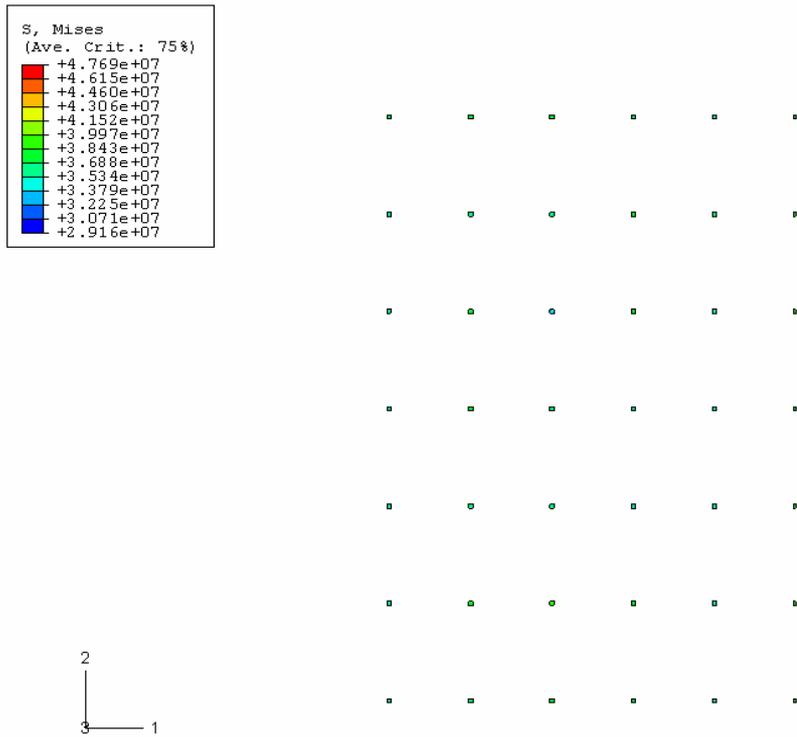


圖 4.17 改變總接觸面積—40%

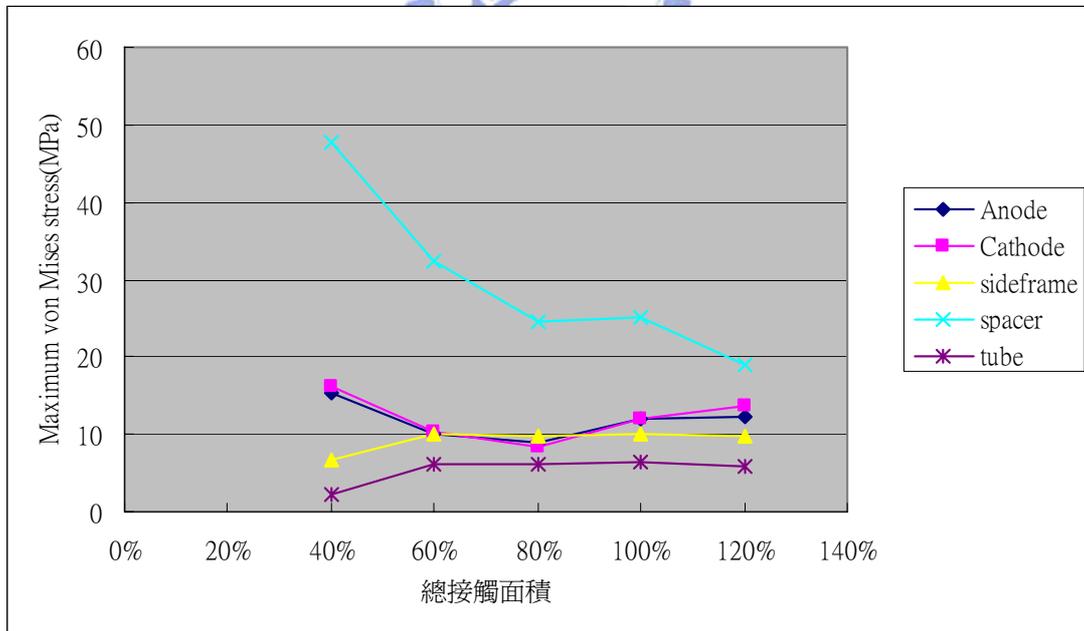


圖 4.18 總接觸面積—最大應力曲線圖

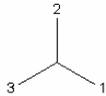
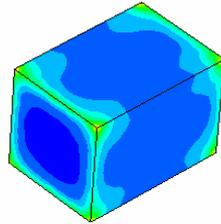
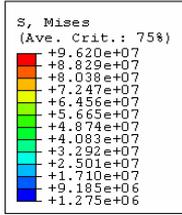


圖 4.19 改變 Spacer 截面積形狀—方形

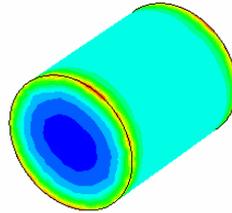
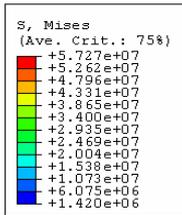


圖 4.20 改變 Spacer 截面積形狀—圓形

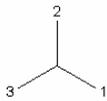
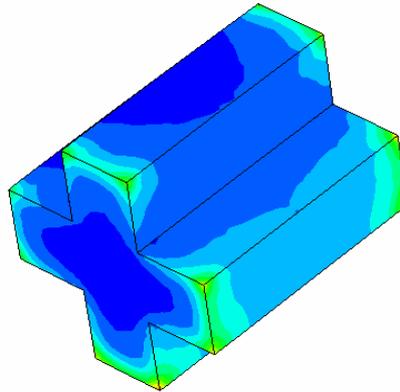
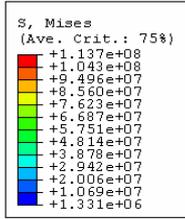


圖 4.21 改變 Spacer 截面積形狀—十字形



## 第五章 CNT-FED 面板之有限元素分析

之前兩章的模擬是針對於 4.8 mm 厚的邊框，其主要是做為 LCD 背光模組用。接下來將對另一種 1 mm 厚的邊框進行研究，此規格的面板是做為平面顯示器用。

### 5.1 初步模擬

如同第三章的順序，在初步模擬中僅考慮上下兩板與邊框的部份，忽略玻璃粉與 Spacer 的影響。

#### 5.1.1 幾何模型

1 mm 厚的邊框在設計上與先前有很大的不同，圖 5.1 為邊框的設計圖，圖 5.2 是以 CATIA 根據設計圖所畫成之立體圖。除此之外，平面顯示器多了一個 Getter Box 的組件，其設計圖與立體圖如圖 5.3 與圖 5.4 所示，圖中的圓孔為擺放抽氣管的位置。整個平面顯示器組合如圖 5.5 與圖 5.6。

#### 5.1.2 模擬設定

模擬中的基本假設、材料性質與邊界條件皆與 3.2 節中相同。而在網格系統方面，將上下兩板、邊框、抽氣管、Getter Box 五個部份接合 (Merge) 在一起，以確保這五部份的接觸面能完美的接合，再分別以 C3D4 的實體元素 (Solid Element) 建立網格與給定材料性質。

### 5.1.3 模擬結果與討論

從模擬結果的 von Mises 應力分佈圖（圖 5.7 至圖 5.11）可發現，Anode 板與 Cathode 板在與邊框有接觸的部份有應力集中的現象，除此之外，Cathode 板的上半部與 Getter Box 有接觸的部份其應力較大。在 Anode 板的上半部應力也較大，推測其原因應該是邊框的上半部在厚度與形狀在有所改變。邊框上的應力在厚度較薄的部份應力值較大約 6MPa 左右。而抽氣管與 Getter Box 的部份，在其接合處附近的應力值較大。

## 5.2 加入玻璃粉的模擬

### 5.2.1 模擬設定

模擬中的基本假設與邊界條件與 3.2 節相同，材料性質則如所表 5.1 示。在網格系統方面，先將上下板、邊框、抽氣管與 Getter Box 的部份以 C3D4 的實體元素建立網格，再給定材料係數。接著以 S3 的薄殼元素（Shell Element）建立玻璃粉層並給定材料係數。最後將各接觸面以 Tie 的方式連結在一起，此 Tie 的方式是一種限制條件，在模擬中限制不同元素節點與節點間的關係，以確保在模擬中不同部份可以接合在一起。

表 5.1 模擬所採用之材料性質

	PD200	Soda-lime	7575	2020
Young's modulus (Pa)	$7.6518 \times 10^{10}$	$7.1613 \times 10^{10}$	$1.73 \times 10^9$	$1.78 \times 10^9$
Poisson's ratio	0.21	0.21	0.21	0.21
Thermal expansion coefficient ( $1/^\circ\text{C}$ )	$8.3 \times 10^{-6}$	$8.5 \times 10^{-6}$	$8.9 \times 10^{-6}$	$8.9 \times 10^{-6}$

## 5.2.2 模擬結果與討論

加上玻璃粉的模擬結果 von Mises Stress 分佈如圖 5.12 至圖 5.16，比較有加玻璃粉層與沒有加玻璃粉層的 von Mises 應力分佈圖，發現其應力分佈與應力值皆差異不大，因此可判斷玻璃粉層對整體應力在模擬上的影響不大。在後續的模擬中將忽略掉玻璃粉層。

## 5.3 抽真空的影響

### 5.3.1 幾何模型

在 CNT-FED 中 Spacer 只能放置在 Pixel 與 Pixel 間（圖 5.17），若是擺放方形的 Spacer 則其空間僅為  $0.14 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm}$ ，但由於尺寸過小導致電腦無法計算，因此在此先以  $2.5 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$  的長方柱 Spacer 進行計算，再將其面積換算成需要幾個正確尺寸的小 Spacer。參考 CNT-BLU 的 Spacer 數量，整個面板上一共放置 77 個大 Spacer（圖 5.18），換算成小 Spacer 則需要 34375 個。

### 5.3.2 模擬設定

模擬中的基本假設、材料性質與邊界條件皆與 3.2 節中相同。而在網格系統方面，將上下兩板、邊框、抽氣管、Getter Box 與 Spacer 六個部份接合（Merge）在一起，以確保這六部份的接觸面能完美的接合，再分別以 C3D4 的實體元素（Solid Element）建立網格與給定材料性質。

在模擬的過程中，第一步為燒結過程如先前的模擬一樣，將整個面板的溫度由 380°C 降至 25°C，接著進行第二步的抽真空過程，抽真空即是在面板的內表面施加負一大氣壓的壓力。

### 5.3.3 模擬結果與討論

抽真空後的模擬結果 von Mises 應力分佈如圖 5.19 至圖 5.23，上下兩板、邊框與 Spacer 的應力皆較 CNT-BLU 的模擬結果來的大，尤其是在 Spacer 的部份應力最大值為 49MPa，幾乎達到 Soda-lime Glass 的平均破壞強度。初步模擬的 Spacer 擺放位置是參考 CNT-BLU，但由於設計上的不同導致 Getter Box 下沒有支撐，導致 Spacer 上的應力過大。

接著在 Getter Box 的下方加上一排 Spacer (圖 5.24) 進行模擬，模擬結果如圖 5.25 至圖 5.29，各元件的最大應力值皆有明顯的下降，尤其是在 Spacer 的部份下降幅度最大，由 49MPa 降至 34MPa，因此在 Getter Box 下擺設支撐是需要的。且根據 4.3 節的結論，在相同的接觸面積下，若將此 88 個 Spacer 換成數量更多的小型 Spacer，則各元件上的最大應力值會 34MPa 來的小。

## 5.4 拓樸概念設計

在先前的模擬中，是採用方形的 Spacer 進行，但由於在 CNT-FED 中 Spacer 的外型設計尚未確定，因此運用拓樸最佳化的方法以求得 Spacer 外型的概念設計。

### 5.4.1 拓樸理論

傳統結構最佳化設計分為尺寸最佳化設計（Size Optimization Design）、形狀最佳化設計（Shape Optimization Design）和拓樸最佳化設計（Topology Optimization Design）三個領域，其中拓樸最佳化設計為前兩者的概念設計，所得到的幾何形狀較為粗糙，為增加結構設計結果的明確性可在設計空間（Design Domain）中使用較細的元素做分析。

完整的拓樸最佳化設計系統包括最佳化演算法（Optimization Algorithm）、結構分析工具（Structural Analysis Tool）和拓樸最佳化方法（Topology Optimization Method）三個模組，最佳化模組最常使用的有基因演算法（Genetic Algorithm）及連續線性規劃法（Sequential Linear Programming），結構分析模組則以有限元素法為主，近年來大多使用商用套裝軟體作為結構分析工具，而重點的拓樸模組方面可分為均質化法（Homogenization Method）、密度函數法（Density Function Method）和模擬生物成長法（Simulate Biological Growth Method）三大類，接著介紹本次所使用的密度函數法[7][8]。

密度函數法是找出楊氏係數與元素密度的關係，透過此關係式將密度轉換成楊氏係數，再交由結構分析模組分析計算。而密度函數法又以材料分布法（Material Distribution Method）[10]為代表，材料分布法其主要概念是以等向性材料元素對設計空間進行網格化，設計變數為每個元素的材料密度值。當材料密度值為 1 時，表示該元素充滿材料，反之材料密度為 0 則表示該元素為空的，即不含任何材料[9]。

## 5.4.2 Spacer 拓樸最佳化設計

在 CNT-FED 中 Spacer 僅能放置於 Pixel 間的區域，其尺寸規格如圖 5.17 所示。在進行拓樸最佳化時選用黑色區域為設計空間，對單一個 Spacer 的外型進行計算，其分析的模型如圖 5.30，上下板的厚度會 2.8mm，Spacer 厚度為 1mm。其邊界條件為在上下板上施加一大氣壓力，並固定 Spacer 中央的一點。其目標函數為整體的剛性（Stiffness）最大，而限制條件為 Spacer 體積的 25%~50%，其模擬結果如圖 5.31，其中顏色越接近紅色表示材料密度近 1，則此部份的體積越需要保留下來。

但由於上下板相對於 Spacer 的厚度較大，在模擬中所需要的網格數較多，導致模擬的速度較慢，且上下板為非設計的空間，因此希望能減少此部份的網格量，藉著嘗試不同的上下板厚度，觀察上下板厚度對模擬結果的影響。由模擬的結果（圖 5.32 至圖 5.36）可發現，當上下板厚度大於 1mm 時，其模擬的結果與原尺寸相當，因此在後續的模擬中將以 1mm 厚度的上下板來代替，以節省模擬的時間。

在上述的模擬中皆只考慮一個 Spacer，但一個 Spacer 的結果不一定能代表全體的 Spacer，所以接著以更多數量的 Spacer 進行模擬。觀察模擬的結果（圖 5.37 至圖 5.41）可發現，單一個 Spacer 的結果具有相當的代表性。且可發現其趨勢為 Spacer 在 y 方向的部份皆需保留，而在 x 方向的部份則是越靠近外側的部份需要保留的較多。

以上為體積上限為 50%的結果，接著嘗試各種不同的體積上限進行模擬，由於多個 Spacer 的結果可以從單一 Spacer 的結果推斷出，因此僅進行單一 Spacer 的模擬。模擬的結果如圖 5.42 所示，在

體積百分比小的情況下，保留下的體積多分佈在 y 方向，當體積百分比增加到一定的數量，x 方向的才開始有體積的保留，此結果同樣顯示 y 方向的 Spacer 重要性大於 x 方向。

綜合以上的模擬結果，在進行Spacer外形的設計時，可考慮在以整片狀的Spacer沿著y方向擺放。在整個CNT-FED面板中，Spacer所能擺放的總面積為  $19874.4\text{mm}^2$ ，參考 5.3 節所擺放的 88 個 Spacer，其面積為  $481.25\text{mm}^2$ 約佔總面積的 2.421%。若擺放片狀的Spacer時以此面積為基準，則需沿y方向擺放 18 個。因此採用片狀的Spacer可減少擺放的數量，降低擺放上的難度。



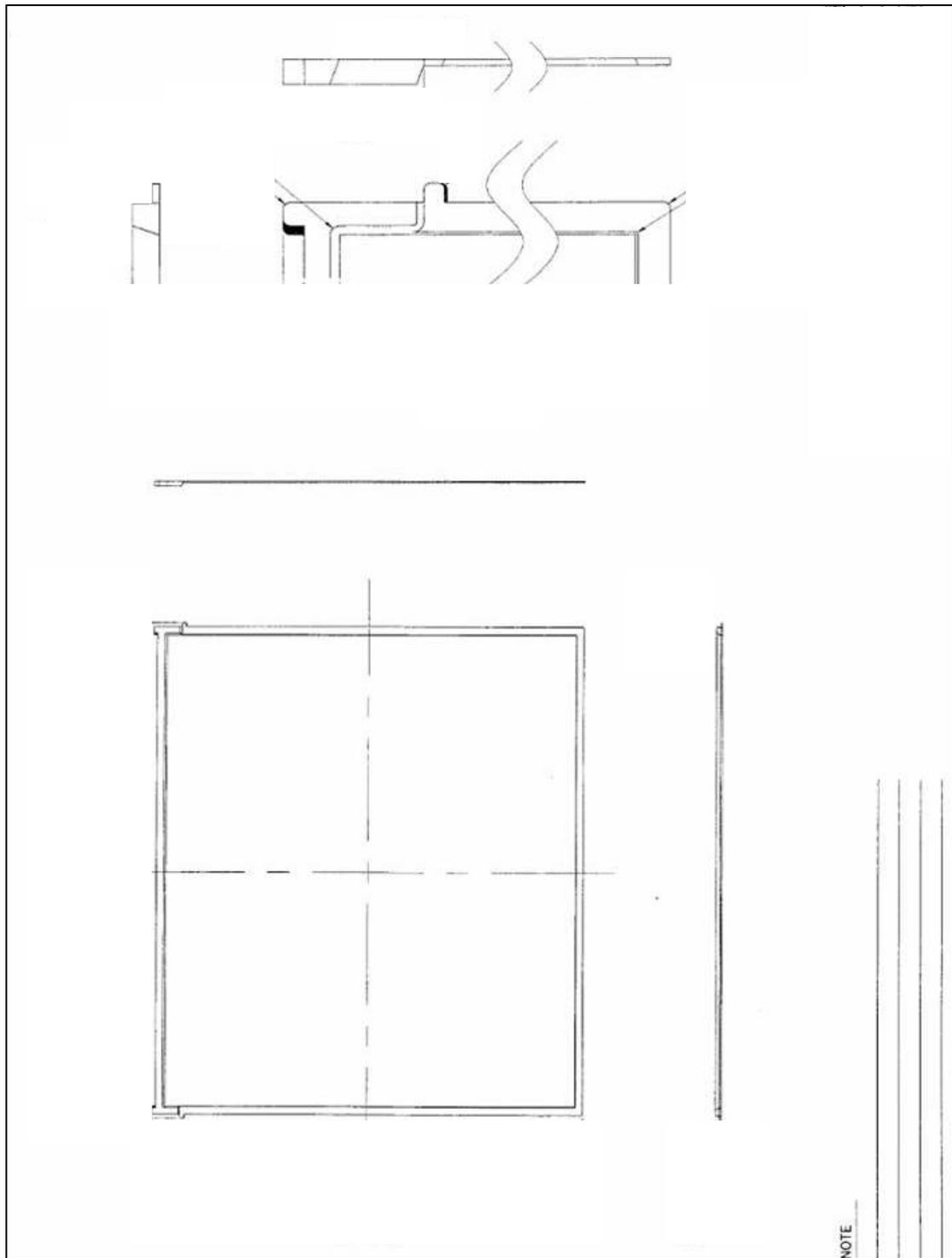


圖 5.1 邊框厚度為 1 mm 之設計圖

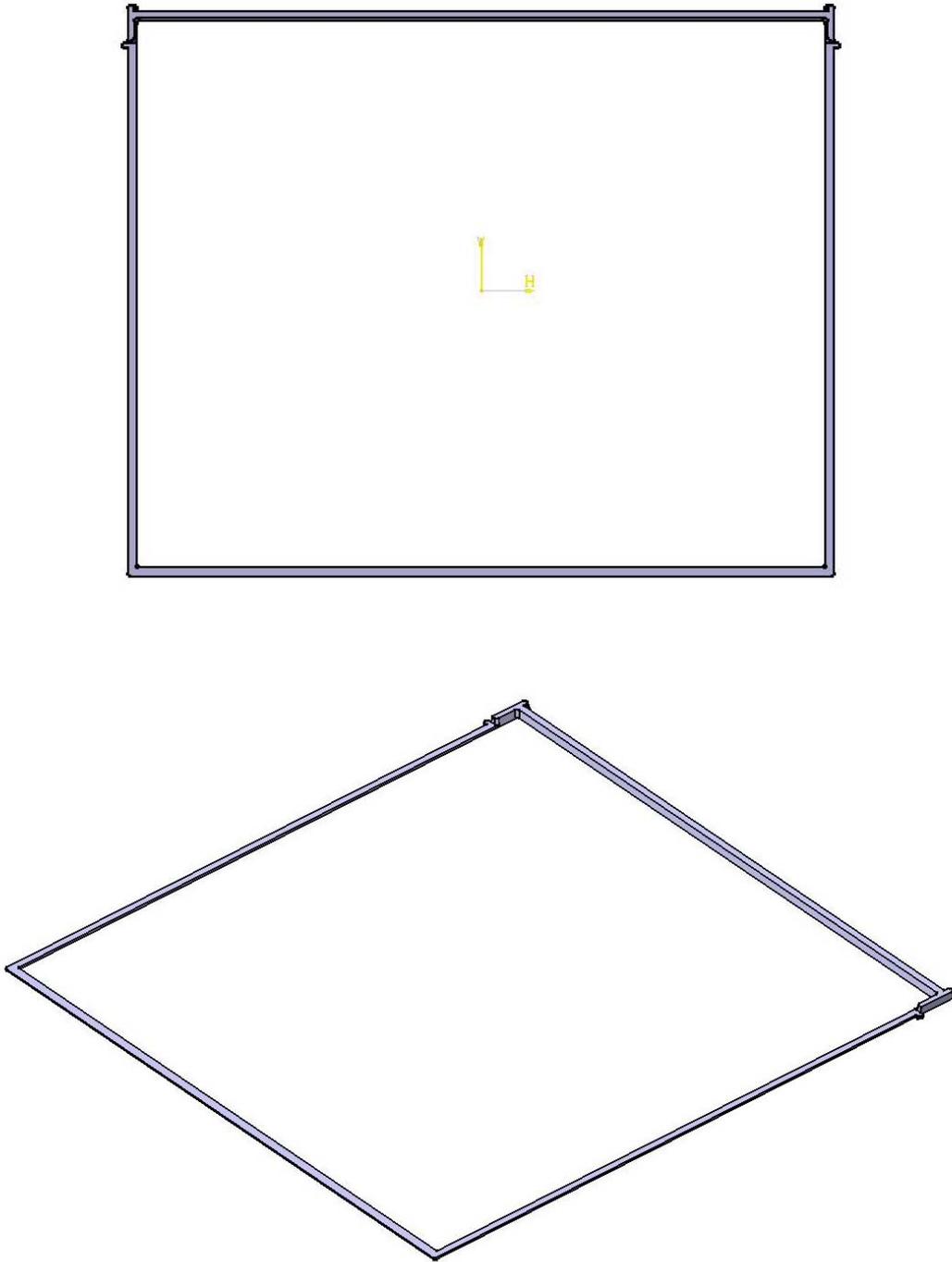


圖 5.2 邊框厚度為 1 mm 立體圖

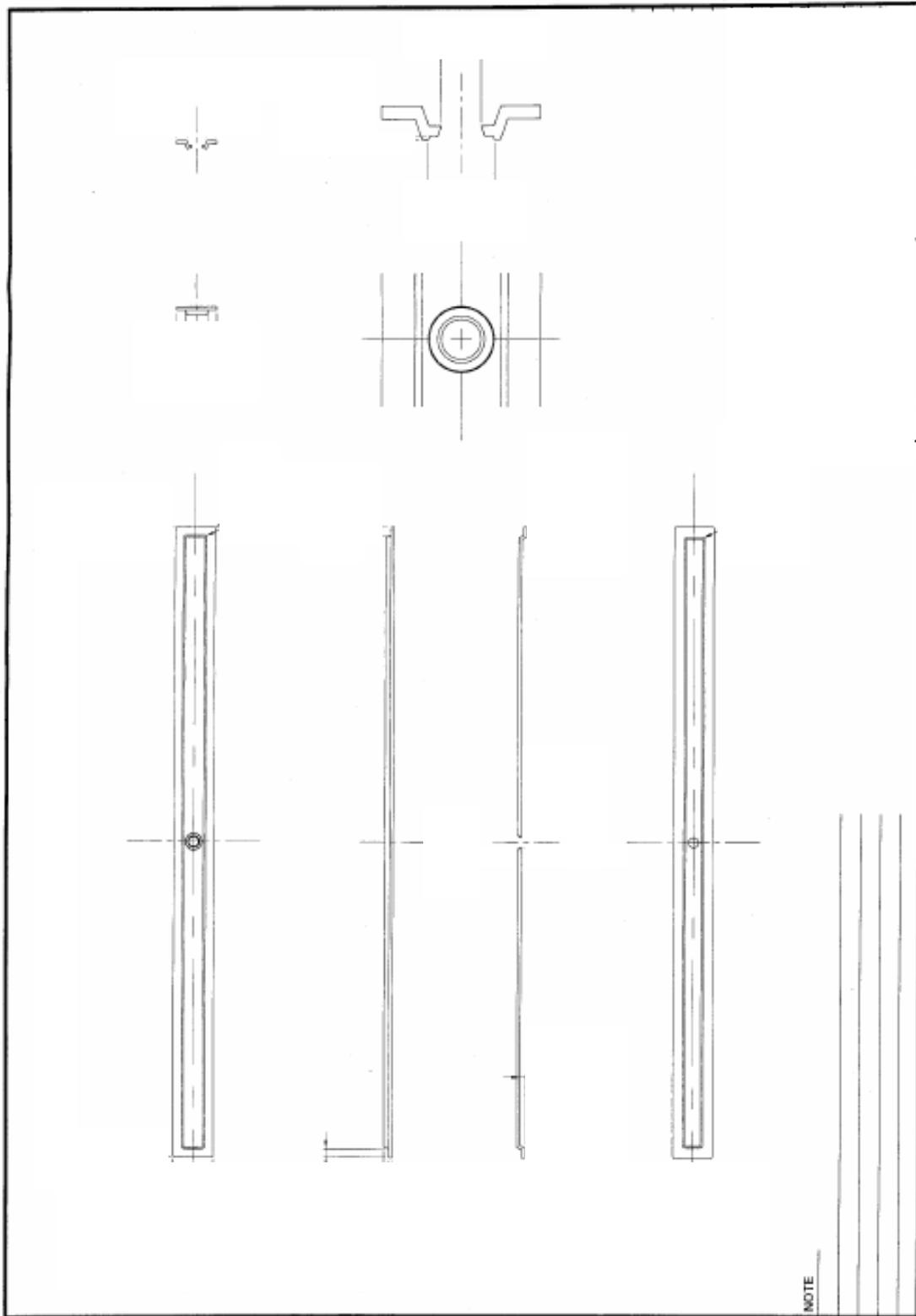


圖 5.3 Getter Box 之設計圖

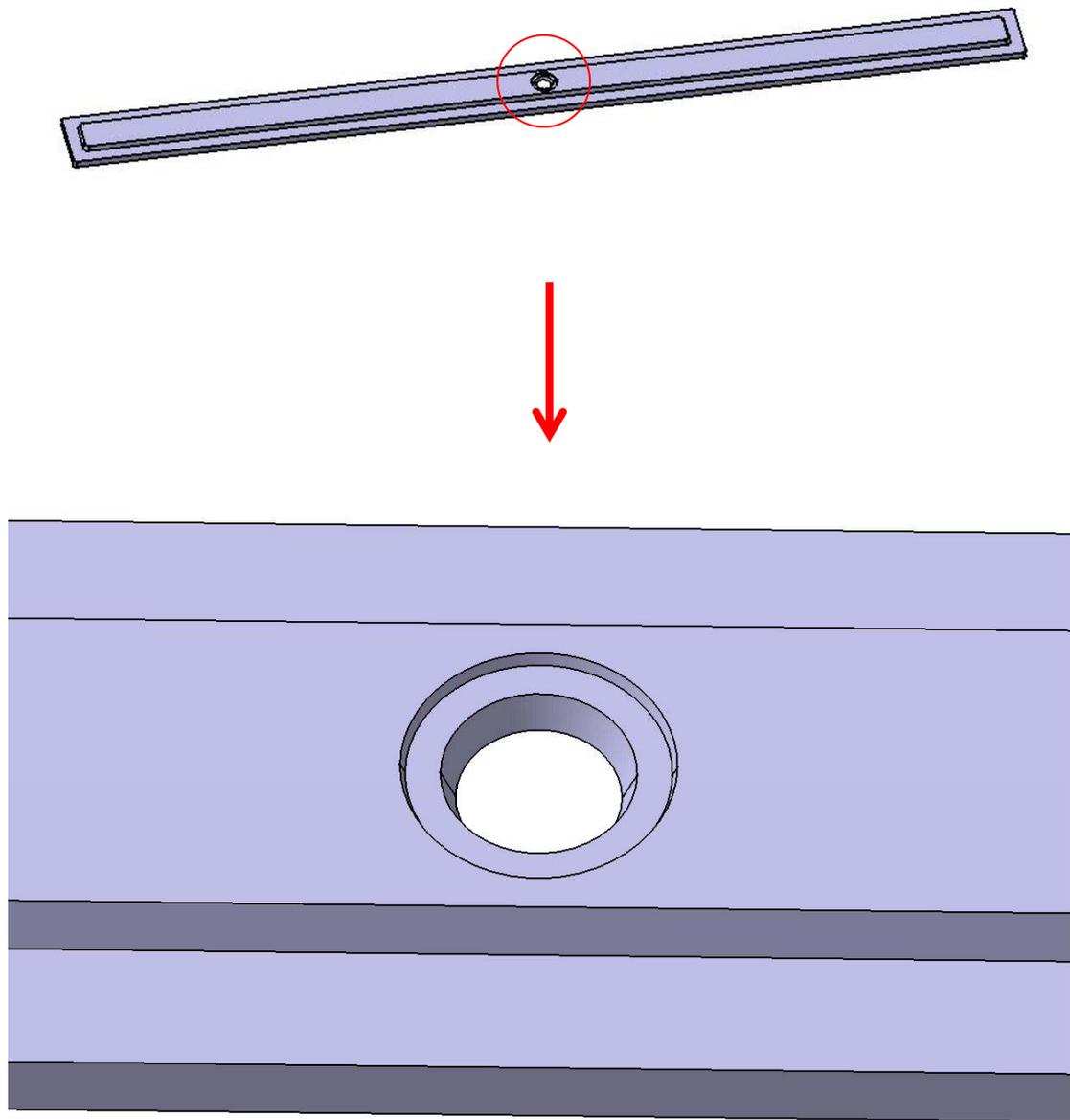


圖 5.4 Getter Box 之立體圖

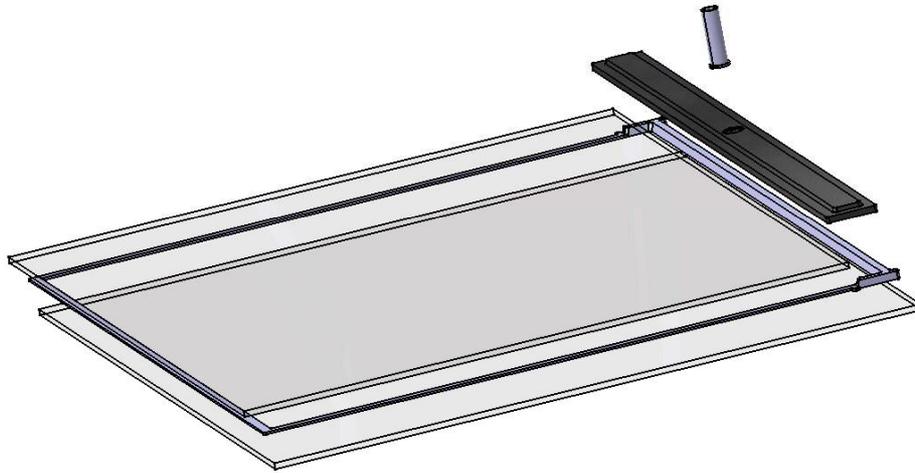


圖 5.5 CNT-FED 爆炸圖



圖 5.6 CNT-FED 組合圖

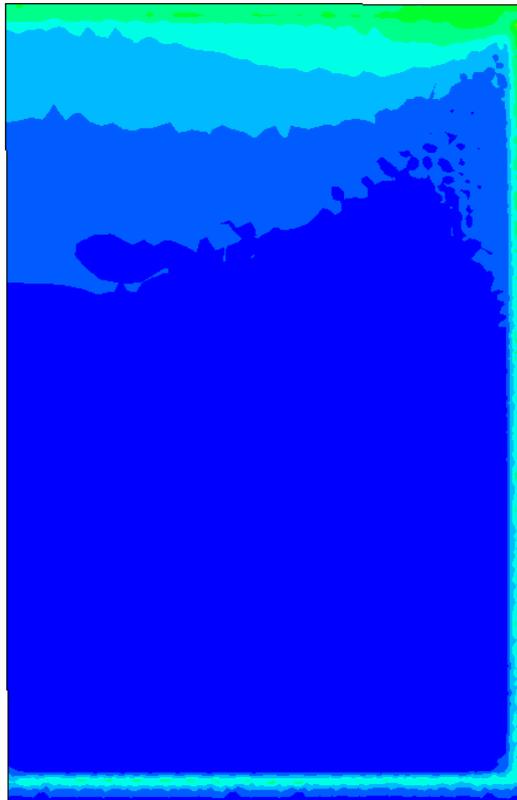
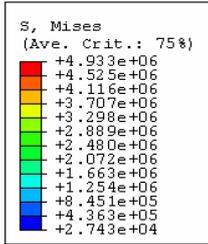
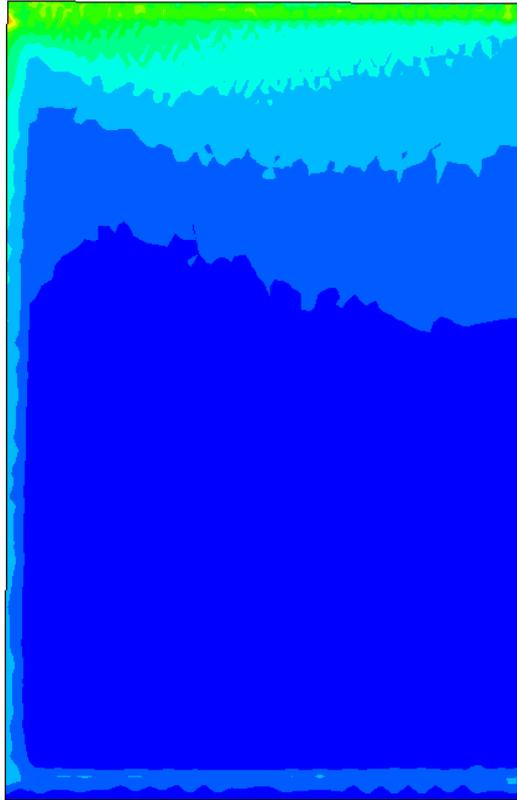
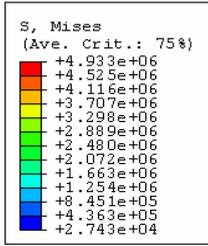


圖 5.7 Cathode 板應力分佈圖

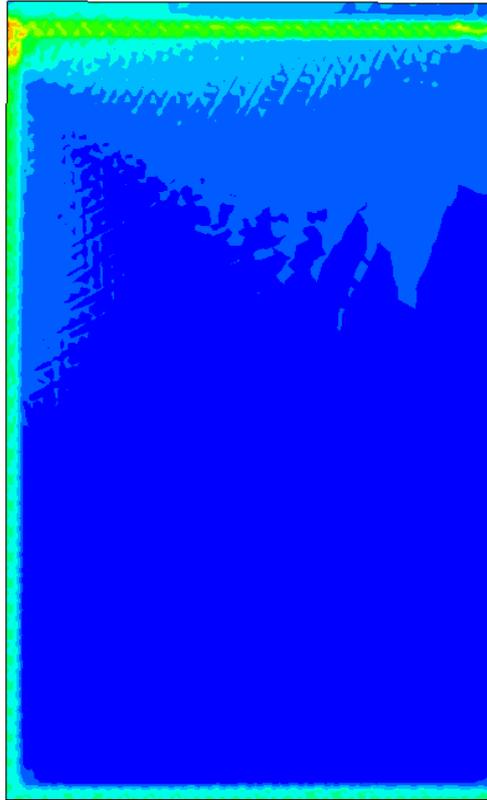
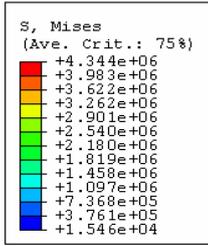


圖 5.8 Anode 板應力分佈圖

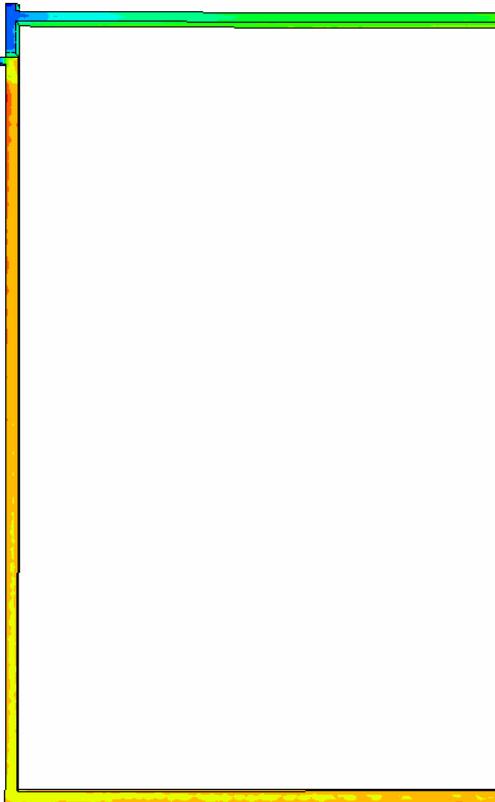
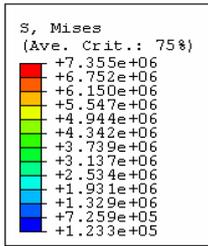


圖 5.9 邊框應力分佈圖

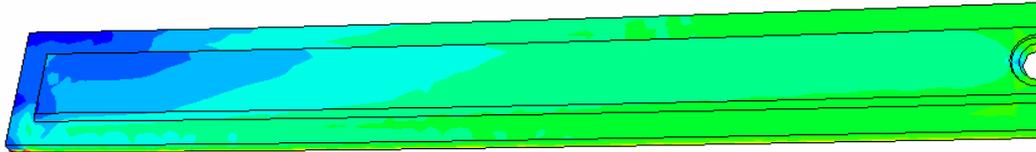
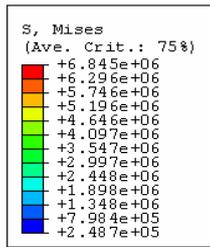


圖 5.10 Getter Box 應力分佈圖

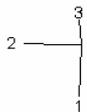
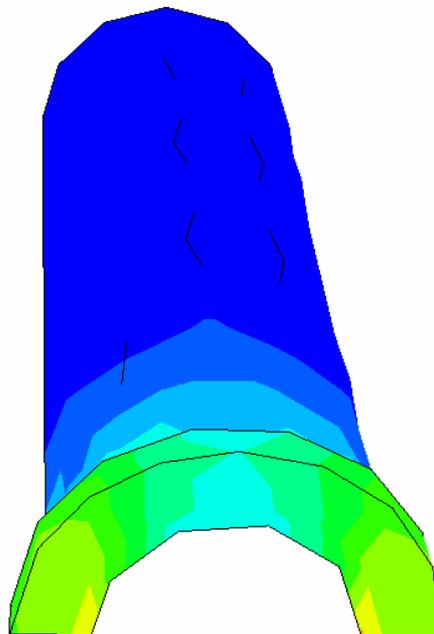
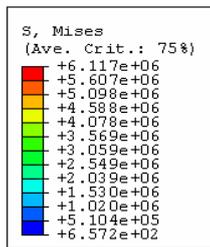


圖 5.11 抽氣管應力分佈圖

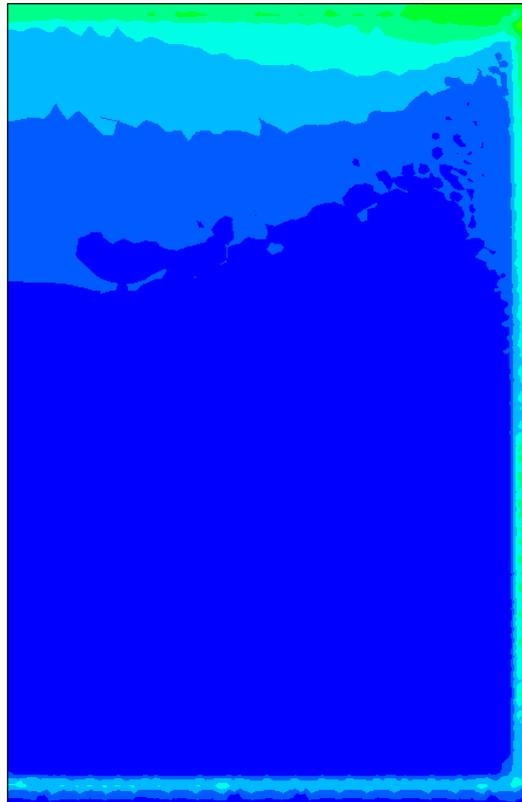
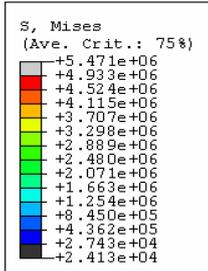
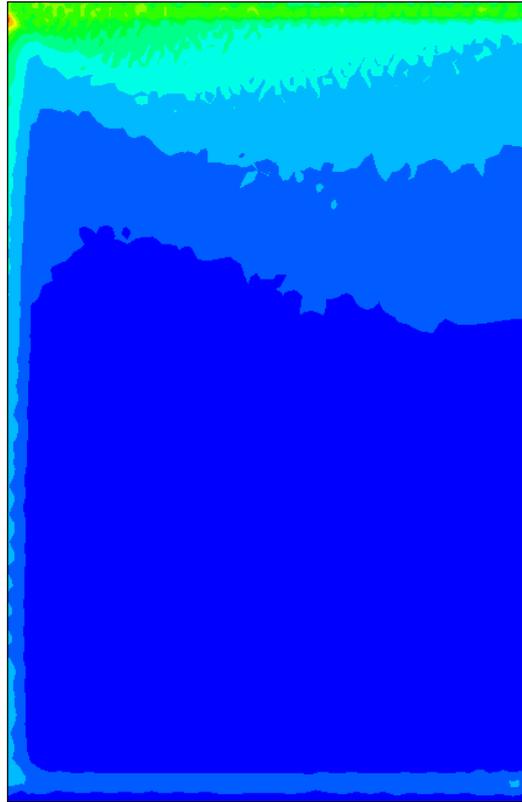
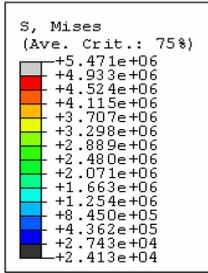


圖 5.12 Cathode 板應力分佈圖 (含玻璃粉)

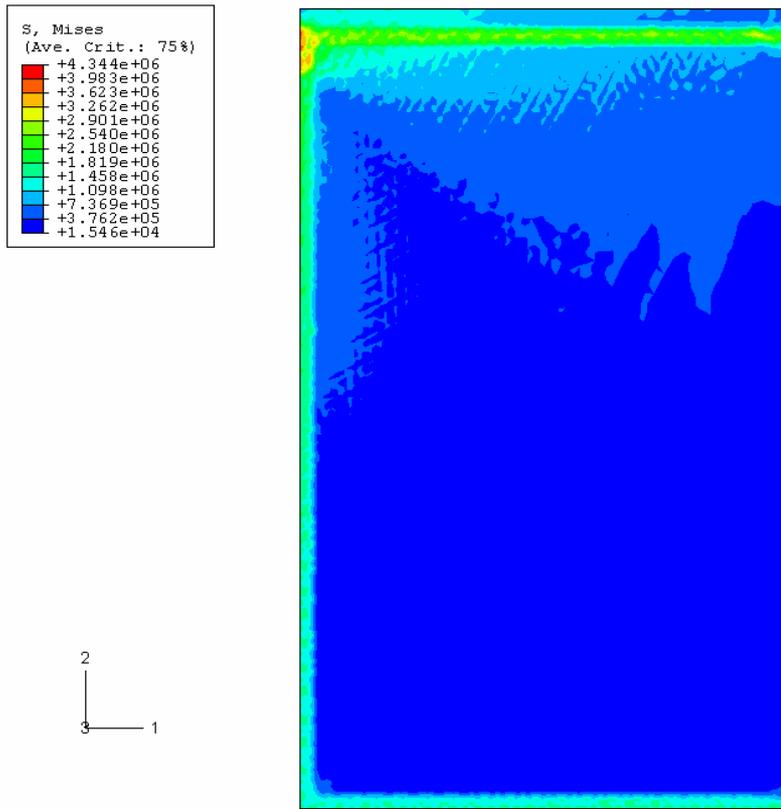


圖 5.13 Anode 板應力分佈圖 (含玻璃粉)

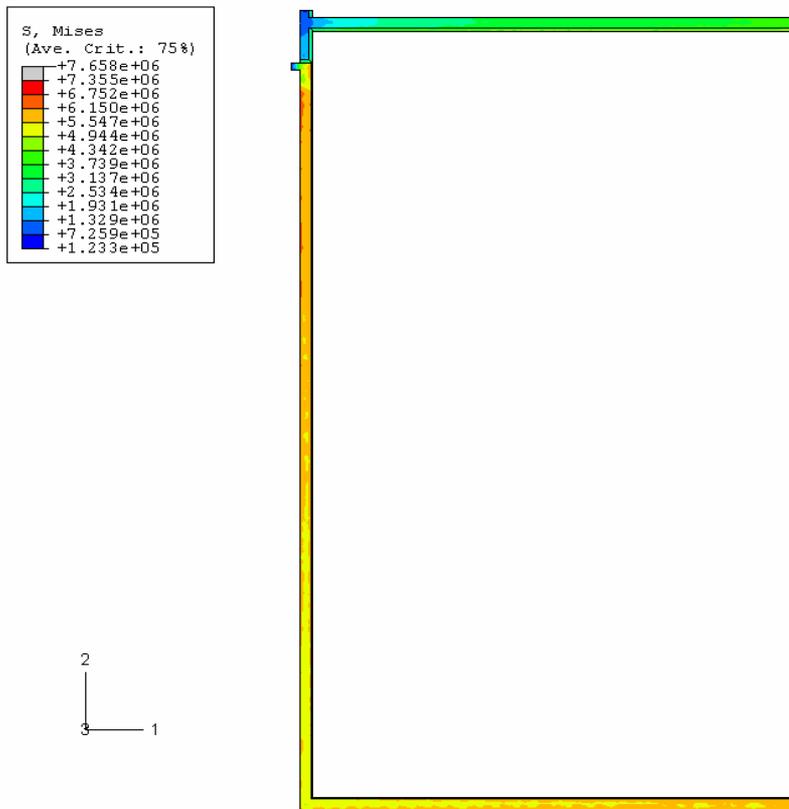


圖 5.14 邊框應力分佈圖 (含玻璃粉)

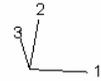
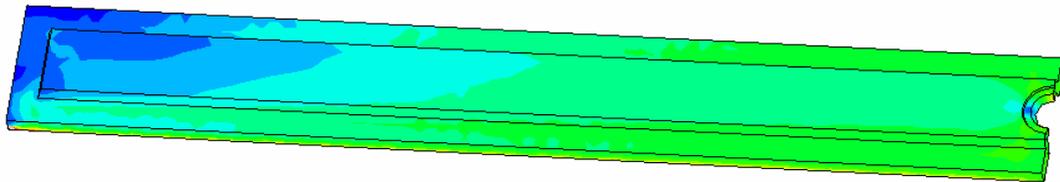
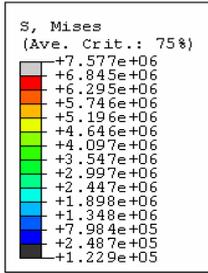


圖 5.15 Getter Box 應力分佈圖 (含玻璃粉)

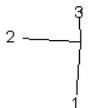
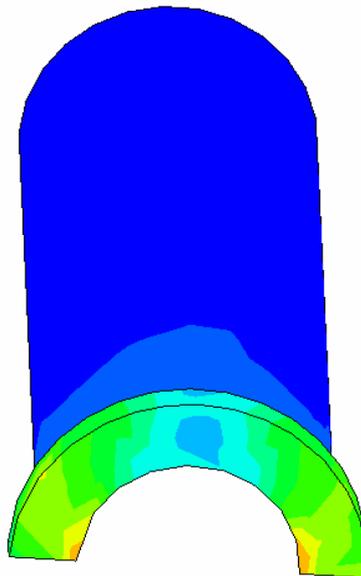
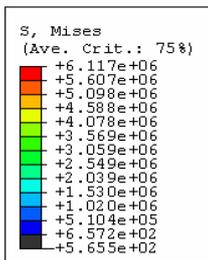


圖 5.16 抽氣管應力分佈圖 (含玻璃粉)

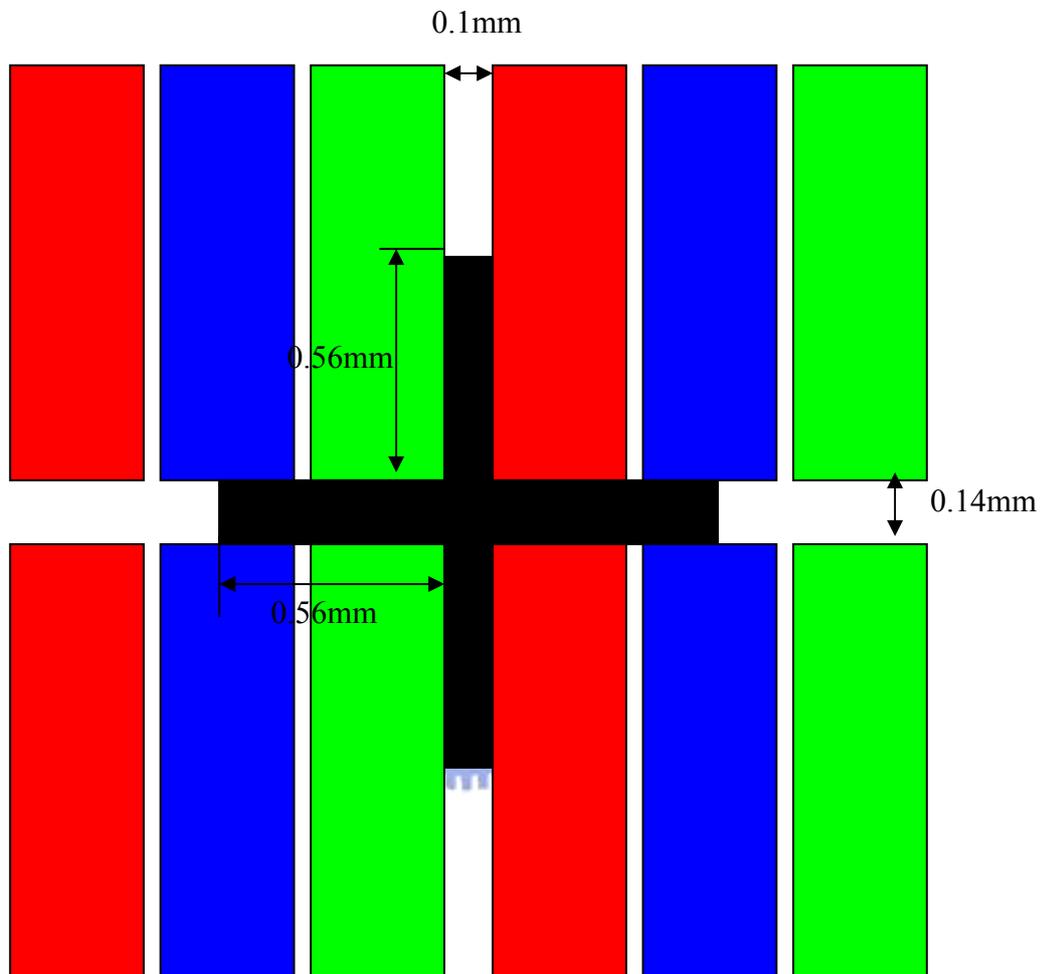


圖 5.17 Spacer 可放置區域

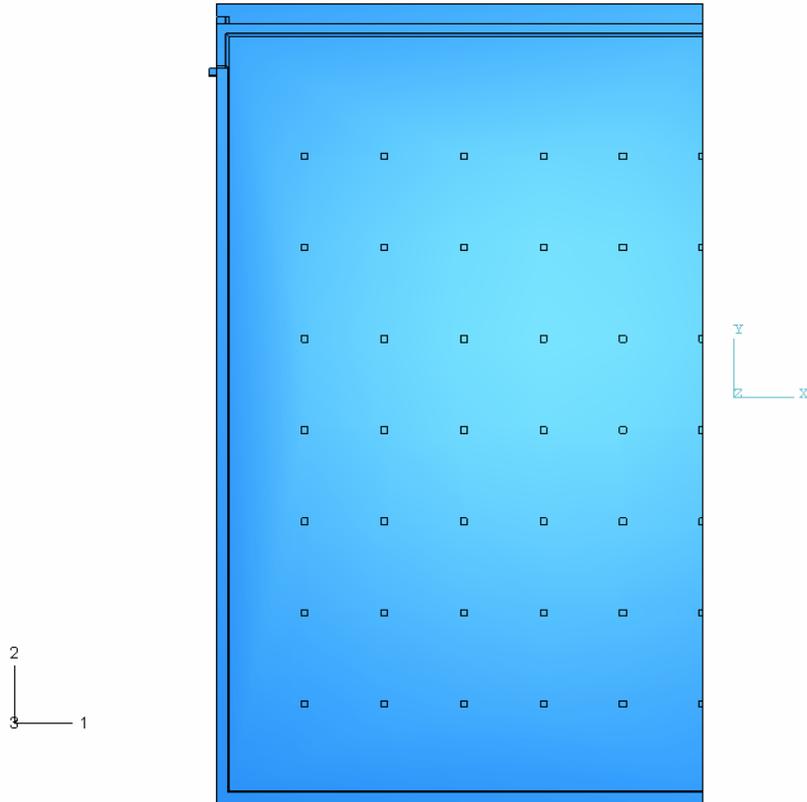


圖 5.18 Spacer 擺放位置圖

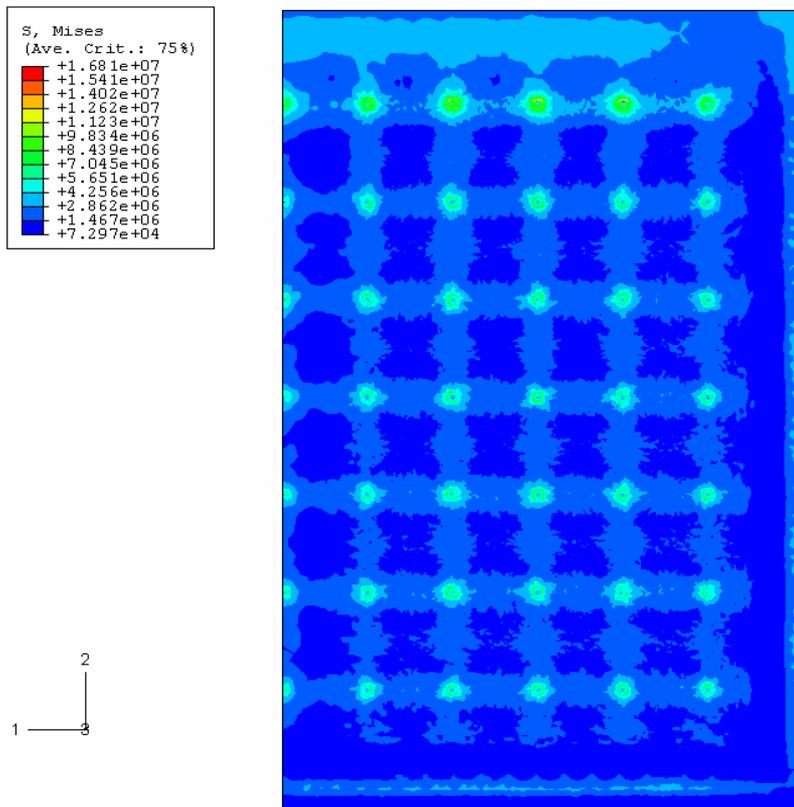


圖 5.19 Cathode 板應力分佈圖 (抽真空後)

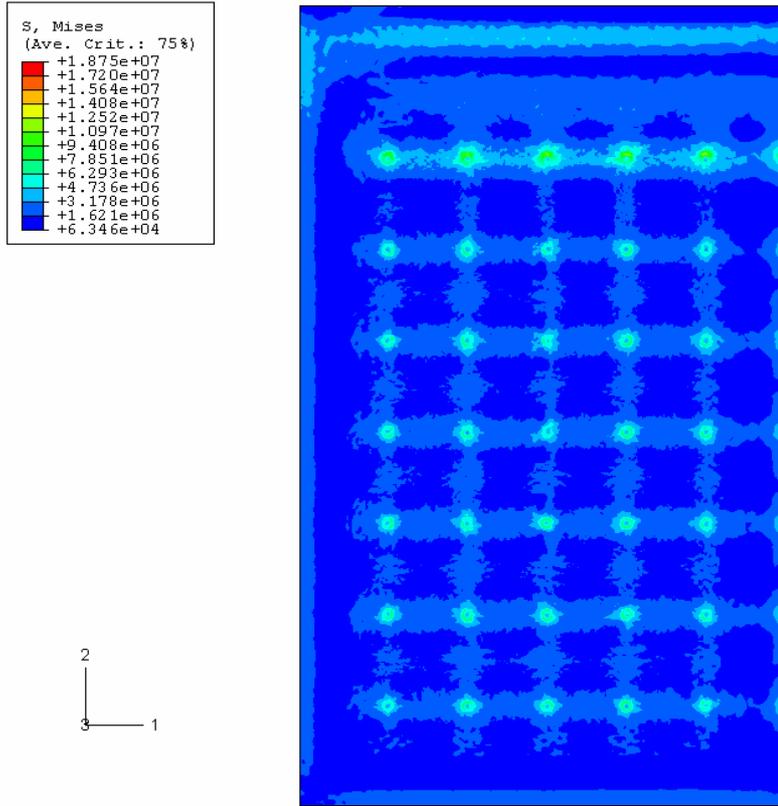


圖 5.20 Anode 板應力分佈圖 (抽真空後)

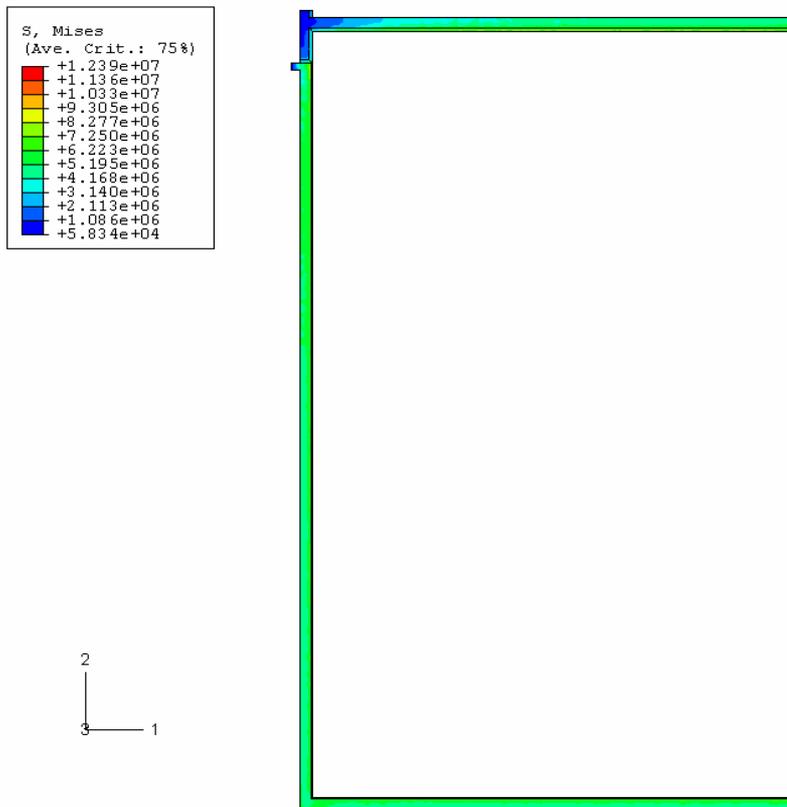


圖 5.21 邊框應力分佈圖 (抽真空後)

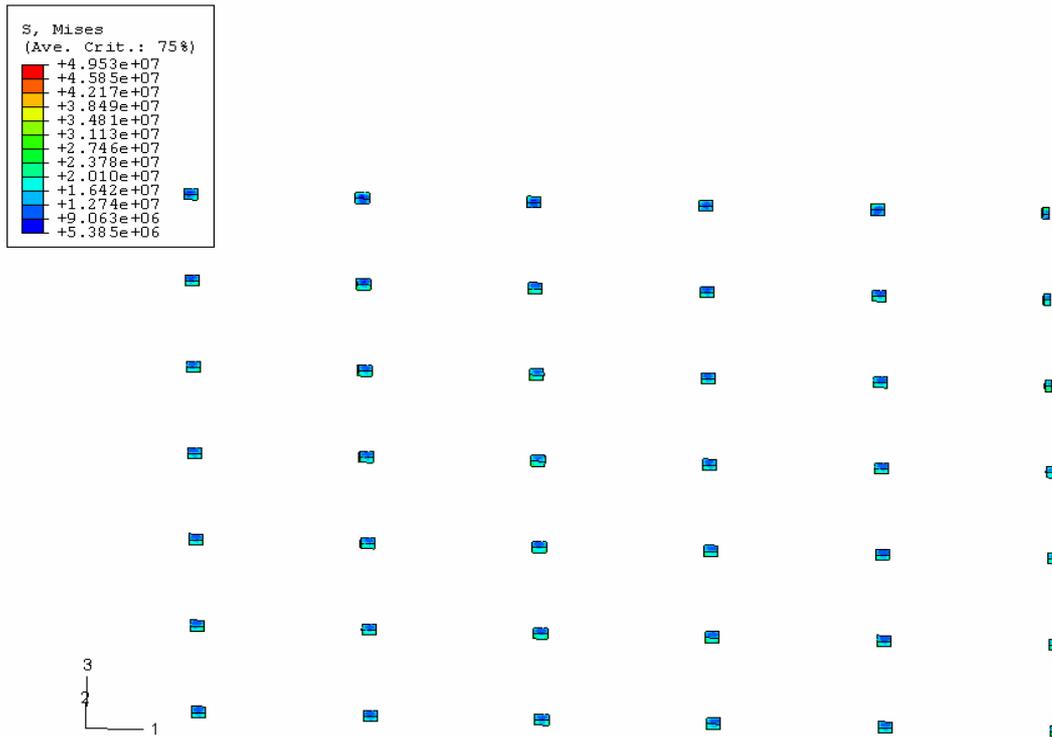


圖 5.22 Spacer 應力分佈圖 (抽真空後)

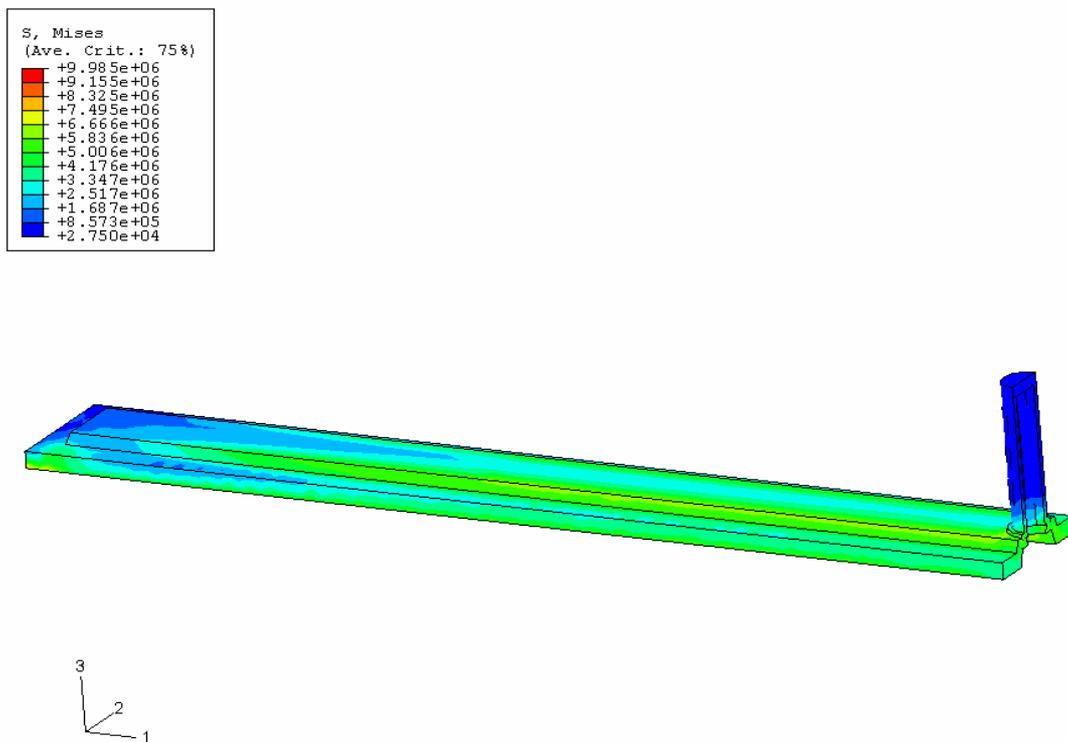


圖 5.23 Getter Box 與抽氣管應力分佈圖 (抽真空後)

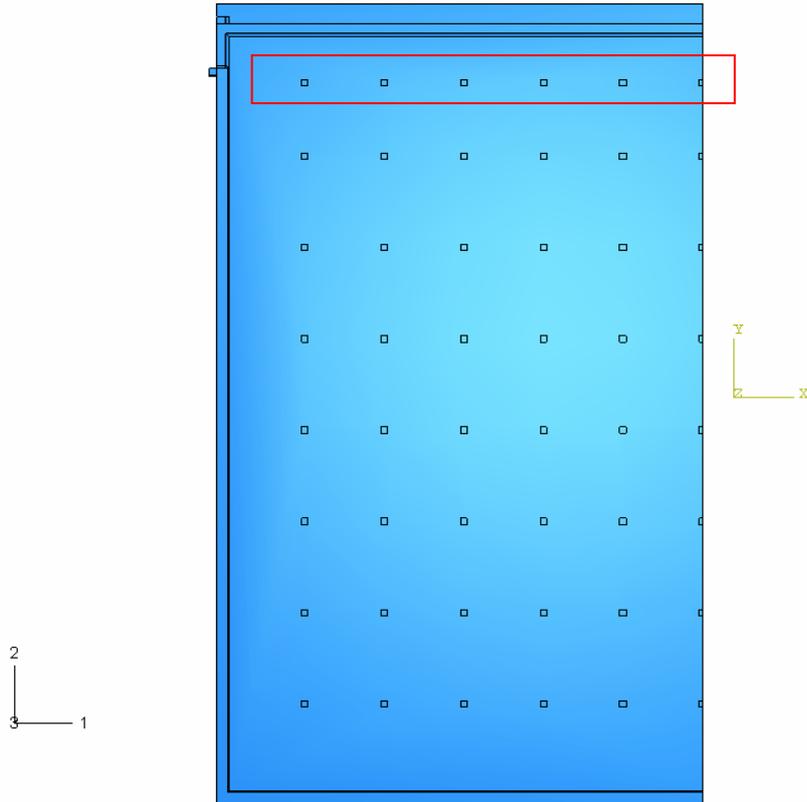


圖 5.24 Spacer 擺放位置圖 (增加一排 Spacer 後)

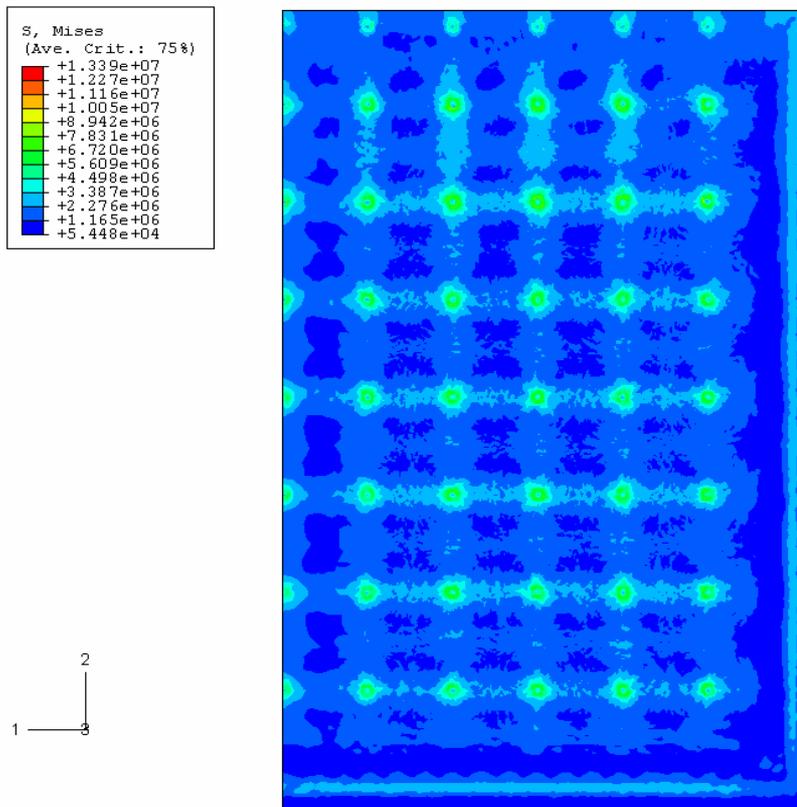


圖 5.25 Cathode 板應力分佈圖 (增加一排 Spacer 後)

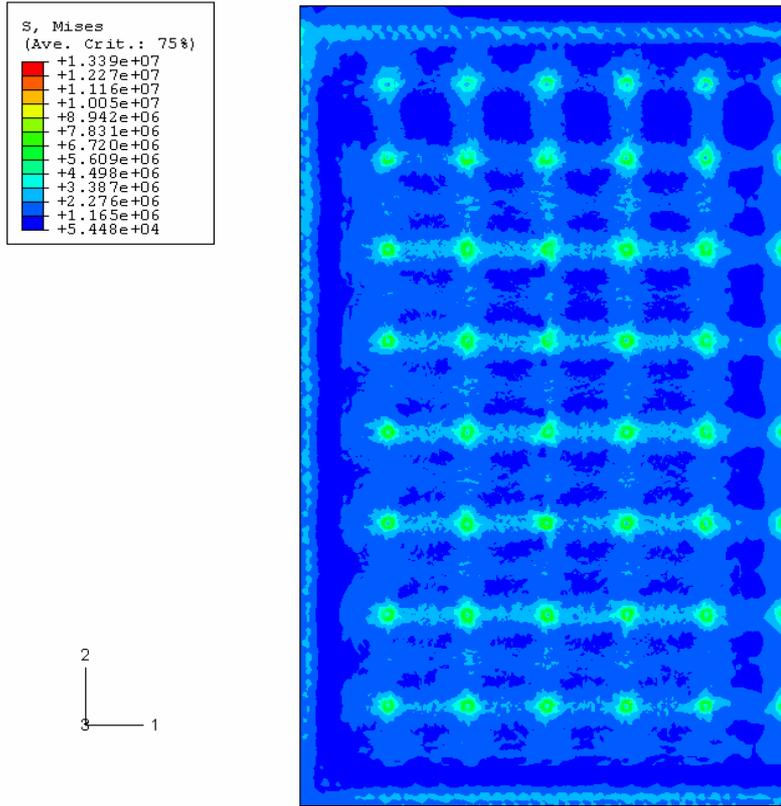


圖 5.26 Anode 板應力分佈圖 (增加一排 Spacer 後)

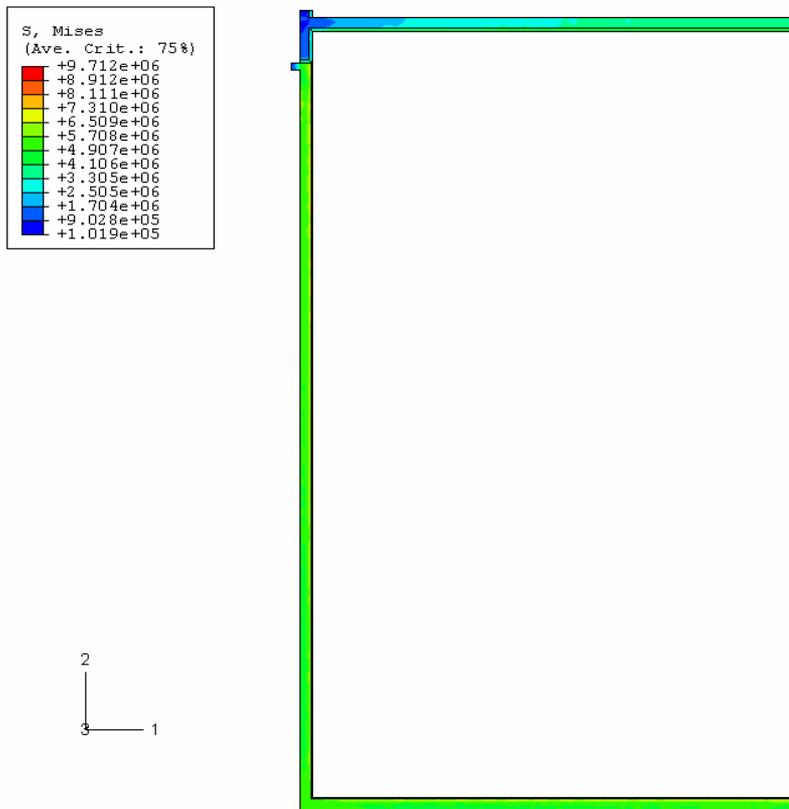


圖 5.27 邊框應力分佈圖 (增加一排 Spacer 後)

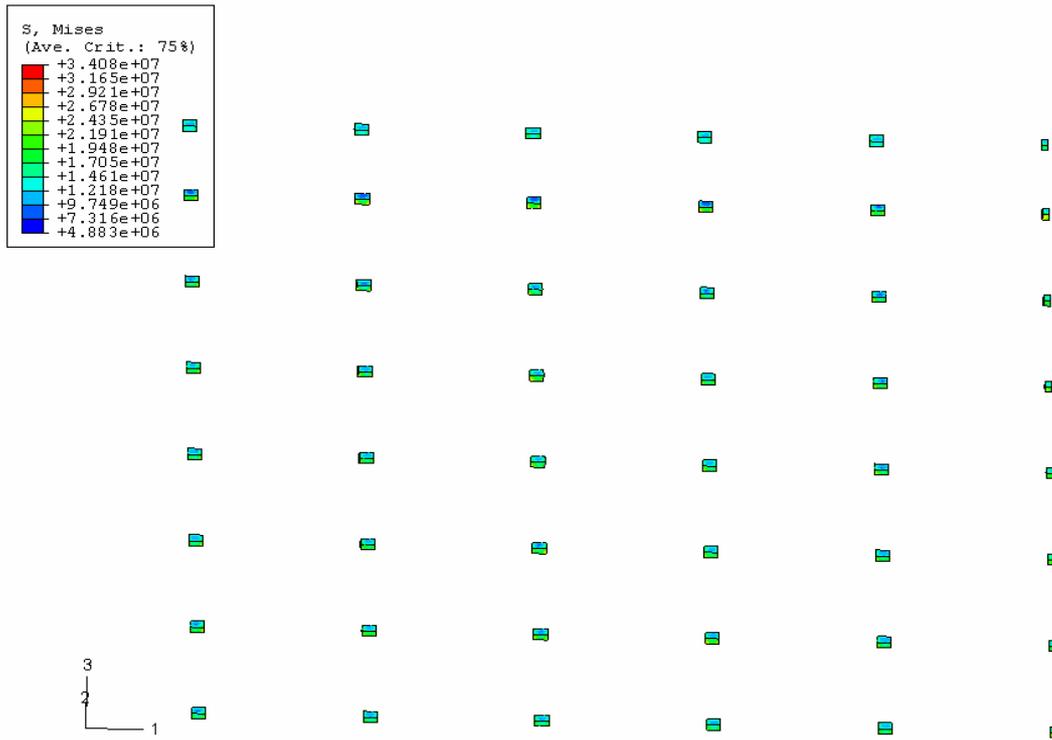


圖 5.28 Spacer 應力分佈圖 (增加一排 Spacer 後)

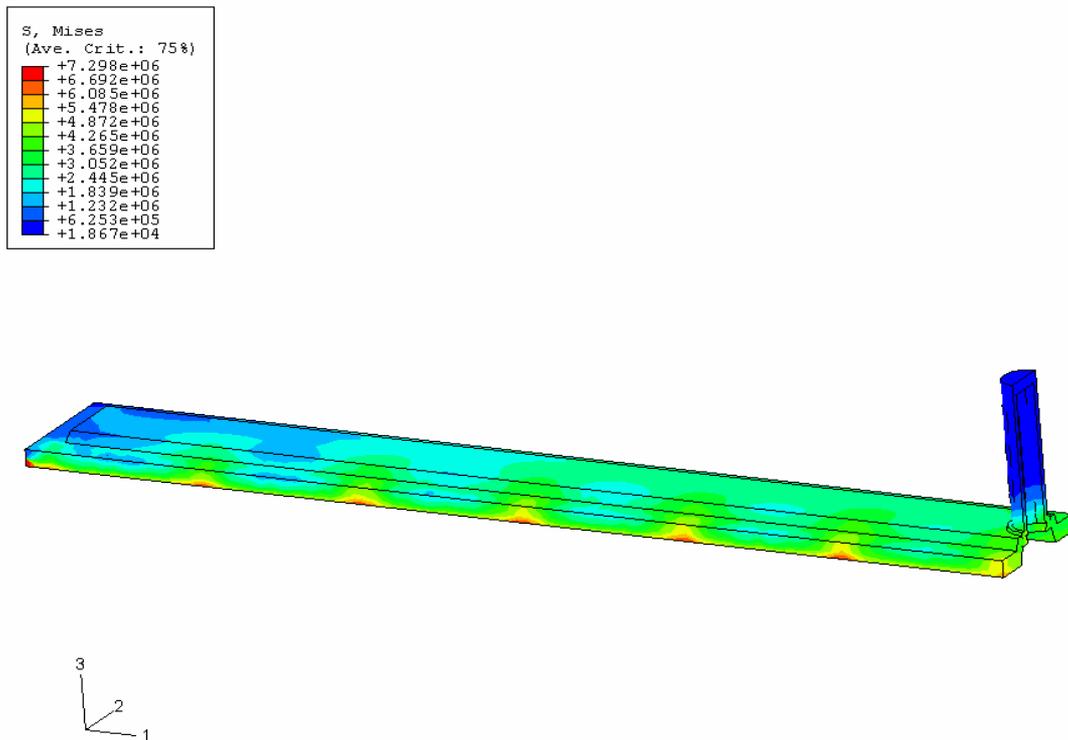


圖 5.29 Getter Box 與抽氣管應力分佈圖 (增加一排 Spacer 後)

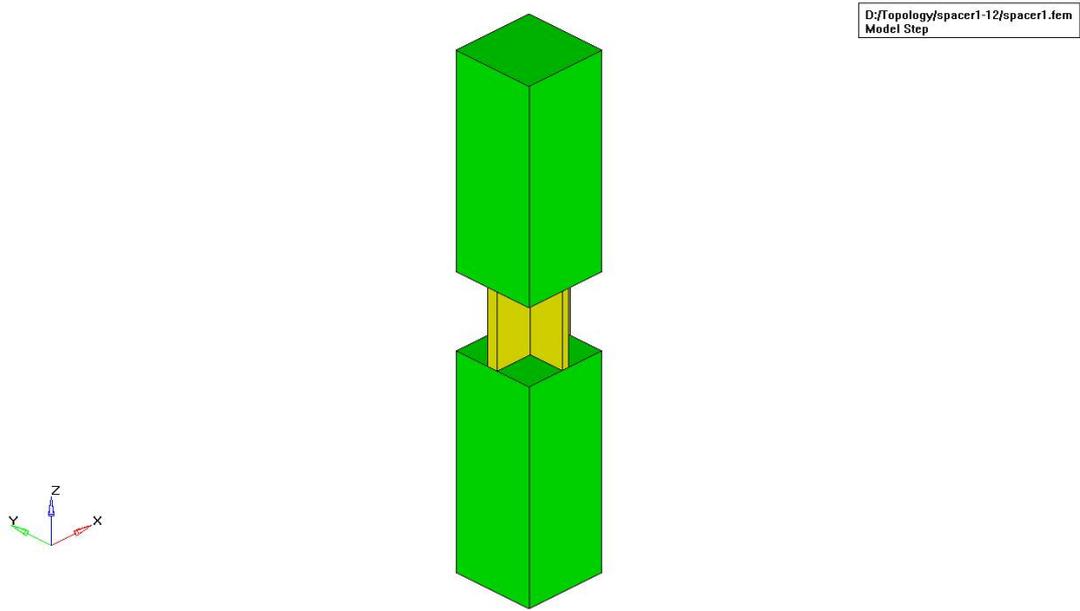


圖 5.30 拓樸最佳化模型

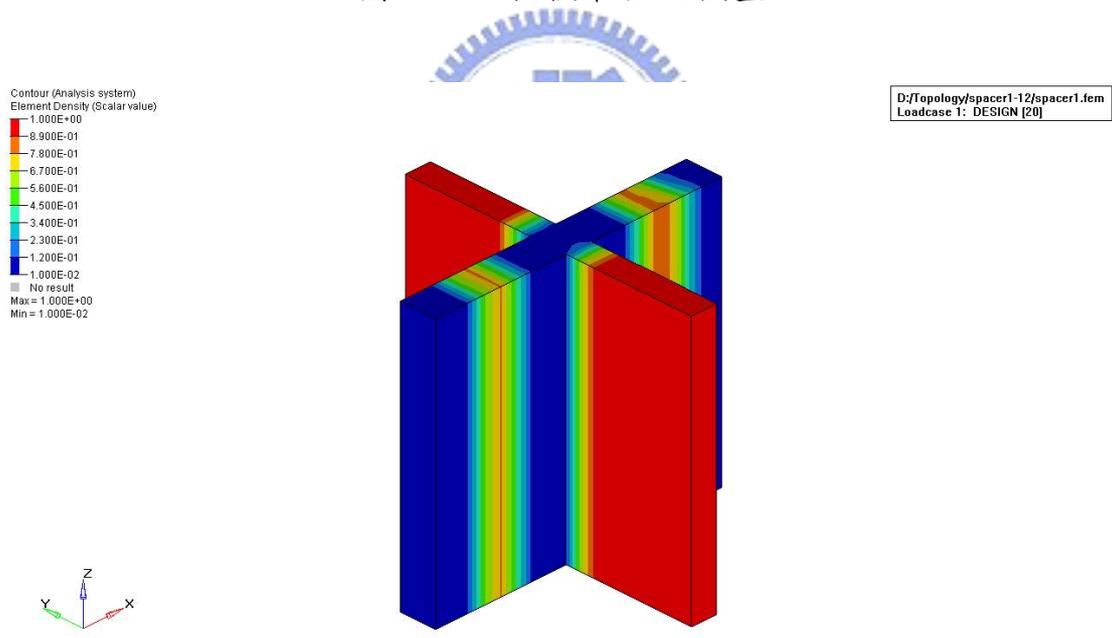


圖 5.31 拓樸最佳化結果

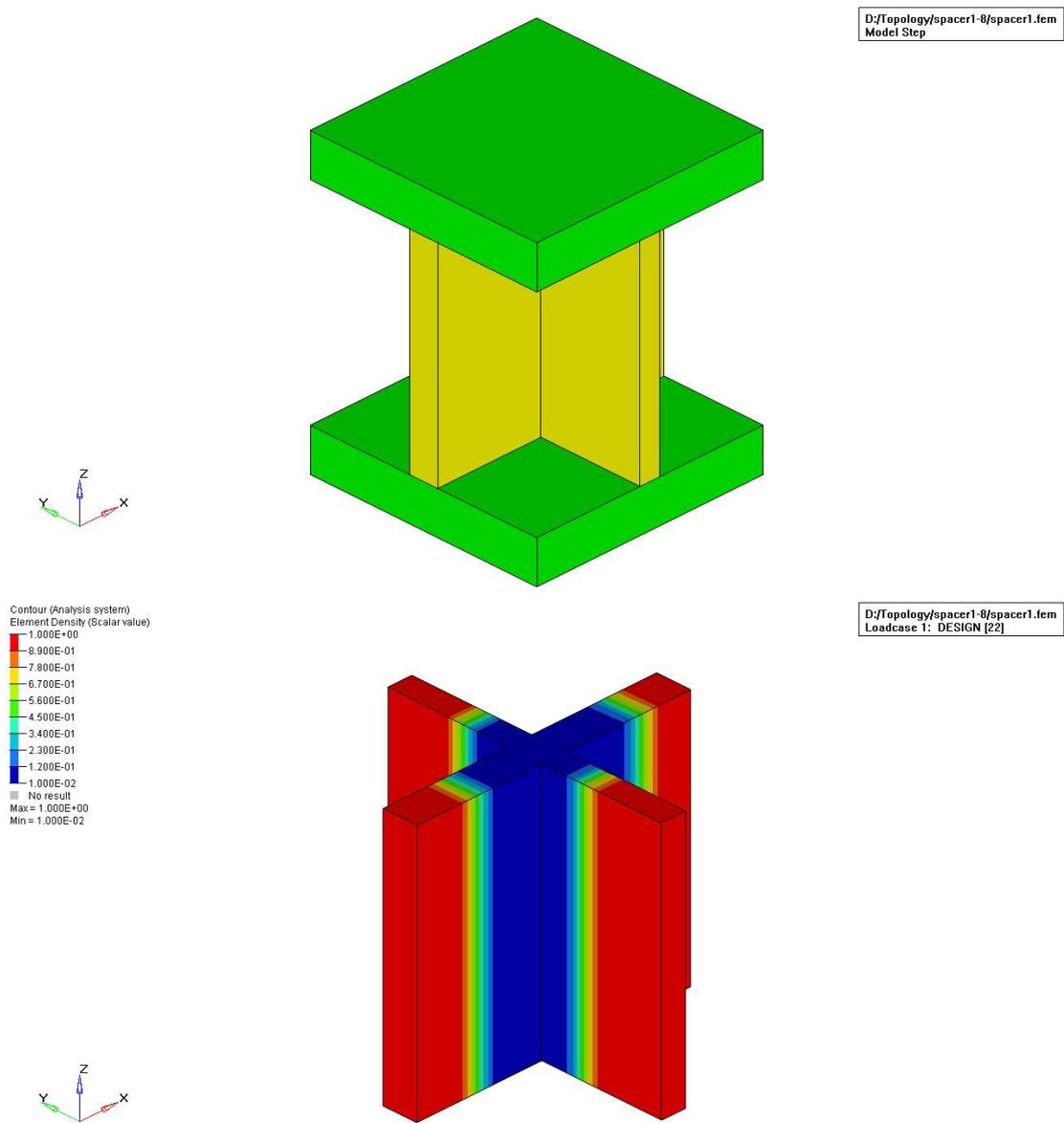


圖 5.32 上下板厚度為 0.2mm 的模擬結果

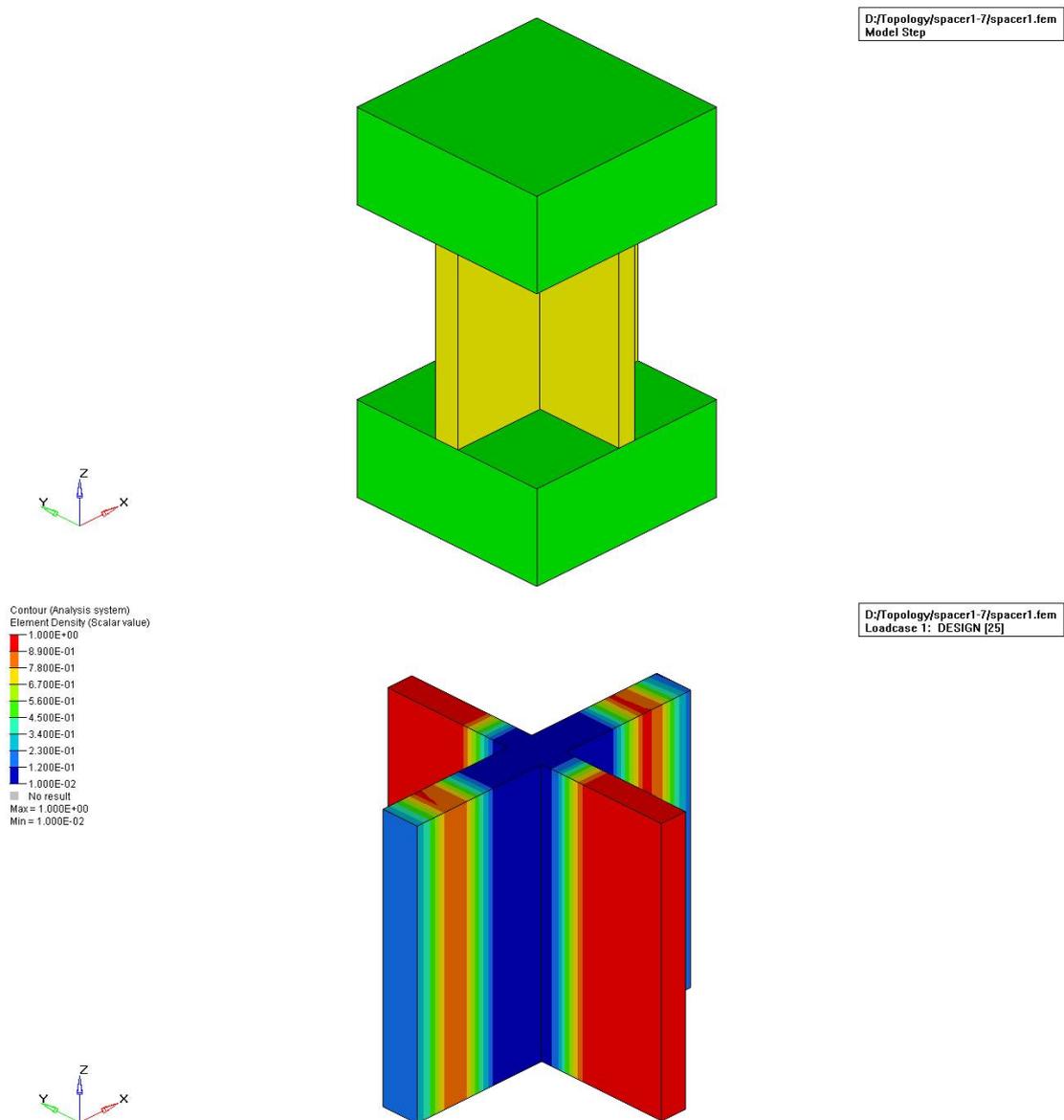


圖 5.33 上下板厚度為 0.5mm 的模擬結果

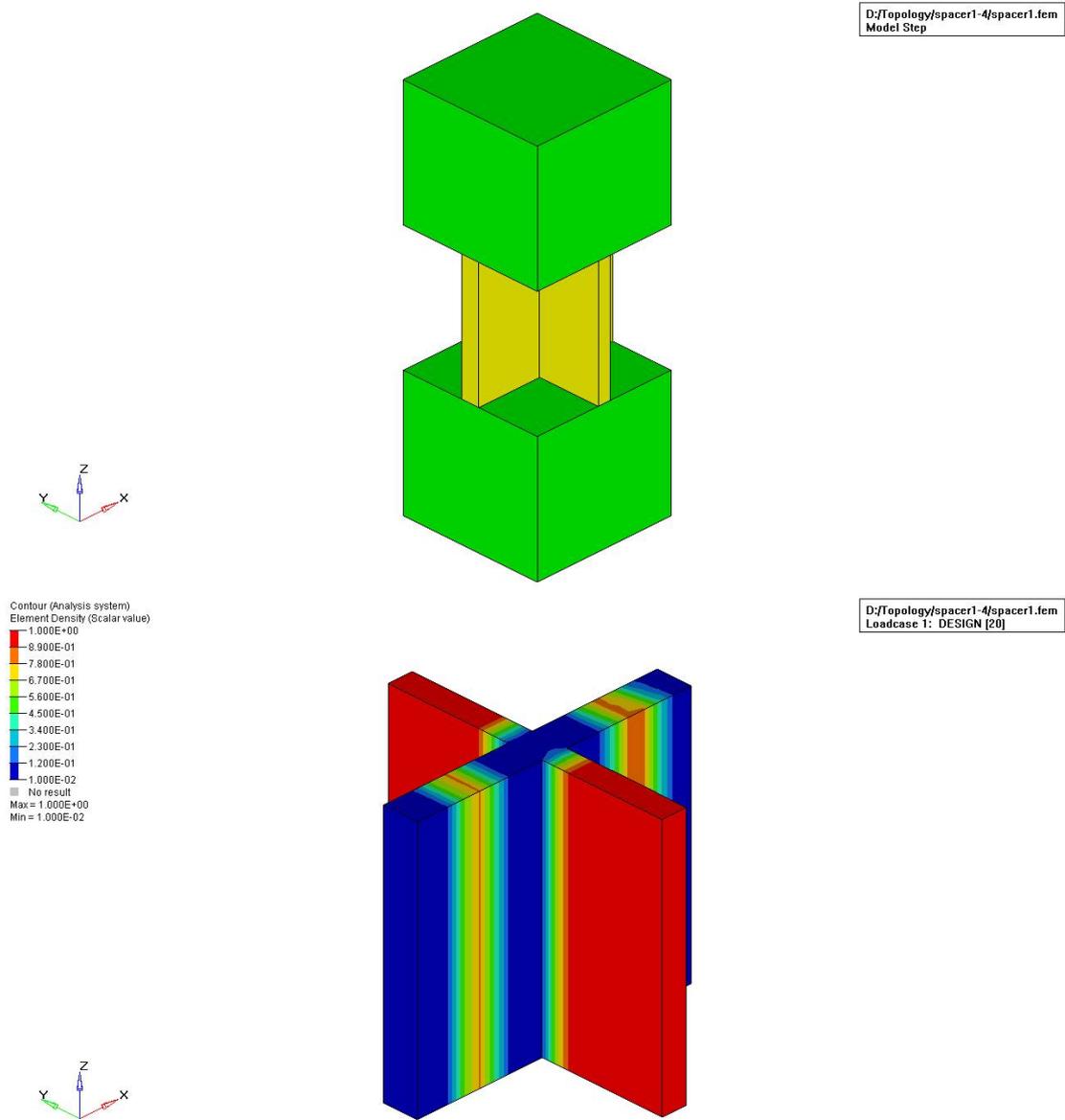


圖 5.34 上下板厚度為 1mm 的模擬結果

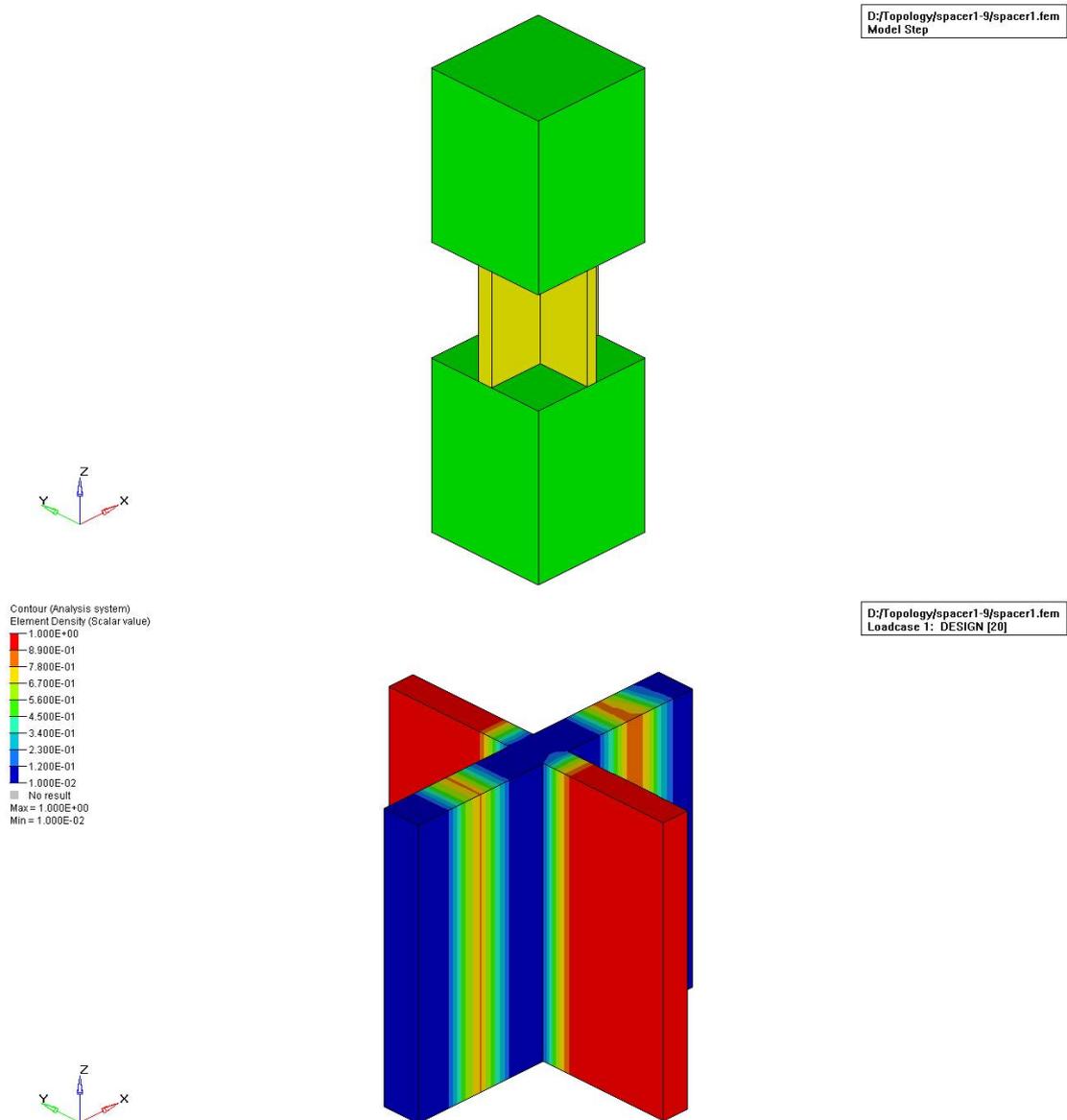


圖 5.35 上下板厚度為 1.5mm 的模擬結果

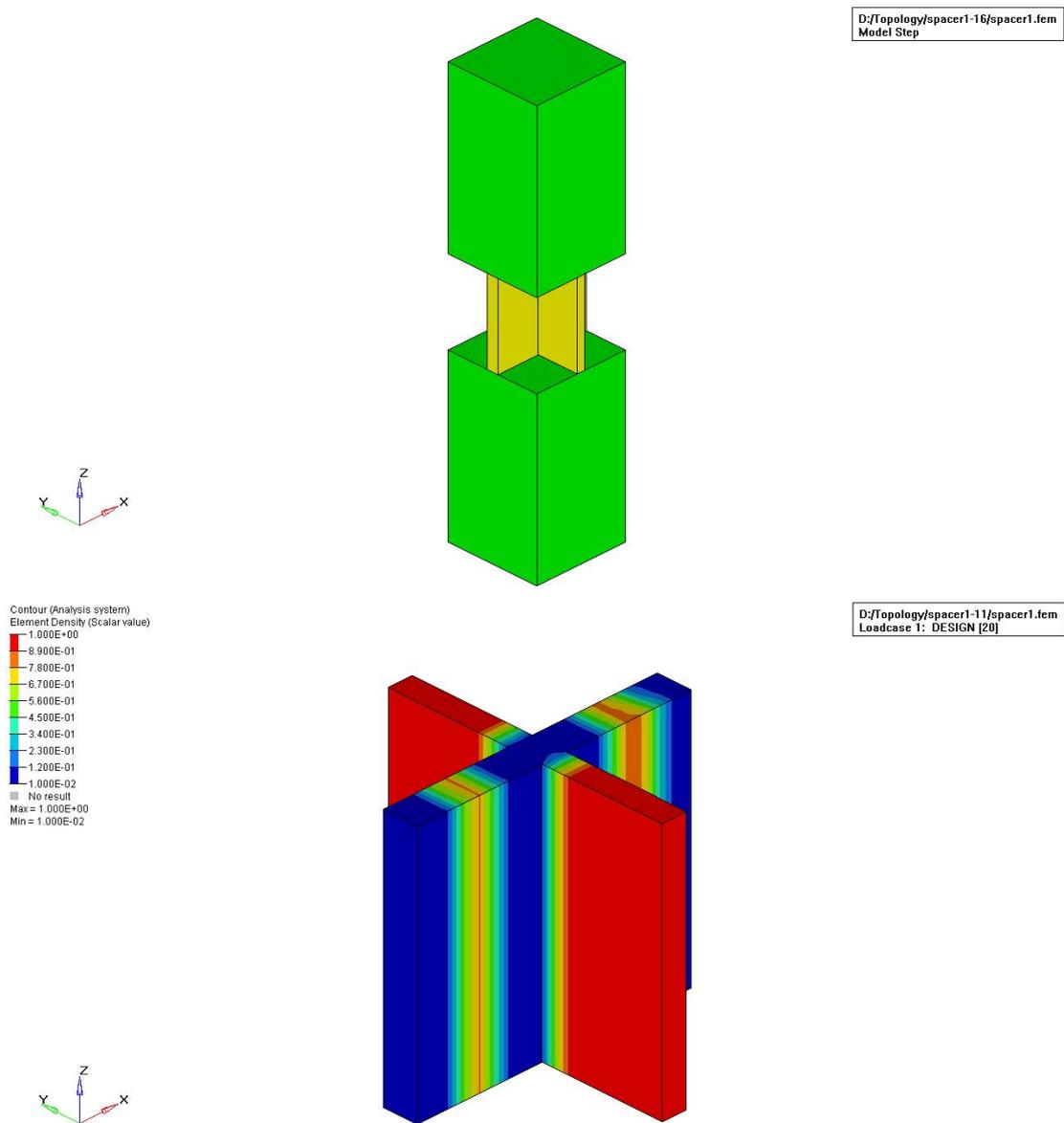


圖 5.36 上下板厚度為 2mm 的模擬結果

Contour (Analysis system)  
 Element Density (Scalar value)  
 1.000E+00  
 8.900E-01  
 7.800E-01  
 6.700E-01  
 5.600E-01  
 4.500E-01  
 3.400E-01  
 2.300E-01  
 1.200E-01  
 1.000E-02  
 No result  
 Max = 1.000E+00  
 Min = 1.000E-02

D:\Topology\spacer4-1\spacer1.fem  
 Loadcase 1: DESIGN [17]

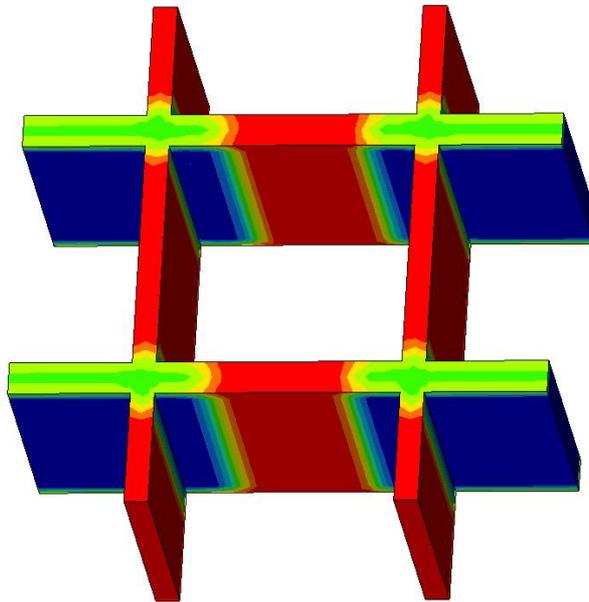


圖 5.37 4 個 Spacer 的模擬結果



Contour (Analysis system)  
 Element Density (Scalar value)  
 1.000E+00  
 8.900E-01  
 7.800E-01  
 6.700E-01  
 5.600E-01  
 4.500E-01  
 3.400E-01  
 2.300E-01  
 1.200E-01  
 1.000E-02  
 No result  
 Max = 1.000E+00  
 Min = 1.000E-02

D:\Topology\spacer9-1\spacer9.fem  
 Loadcase 1: DESIGN [19]

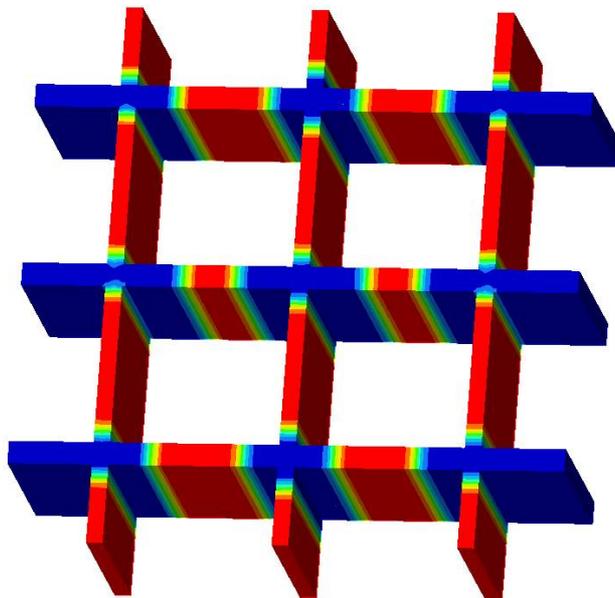
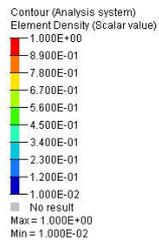


圖 5.38 9 個 Spacer 的模擬結果



D:\Topology\spacer12-1\spacer1.fem  
Loadcase 1: DESIGN [18]

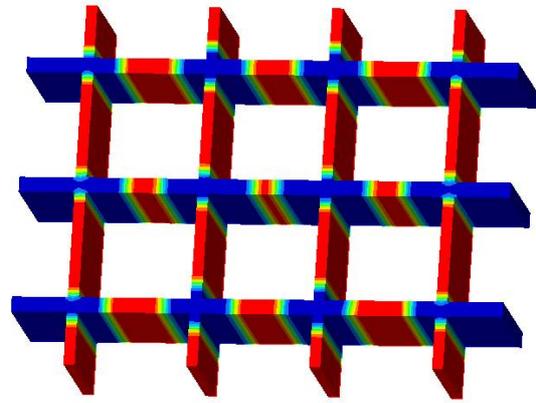
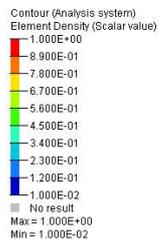


圖 5.39 12 個 Spacer 的模擬結果



D:\Topology\spacer16-1\spacer16.fem  
Loadcase 1: DESIGN [19]

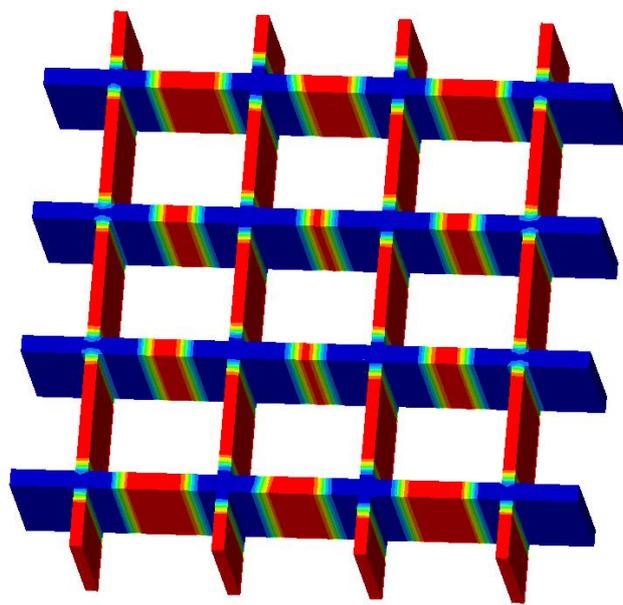


圖 5.40 16 個 Spacer 的模擬結果

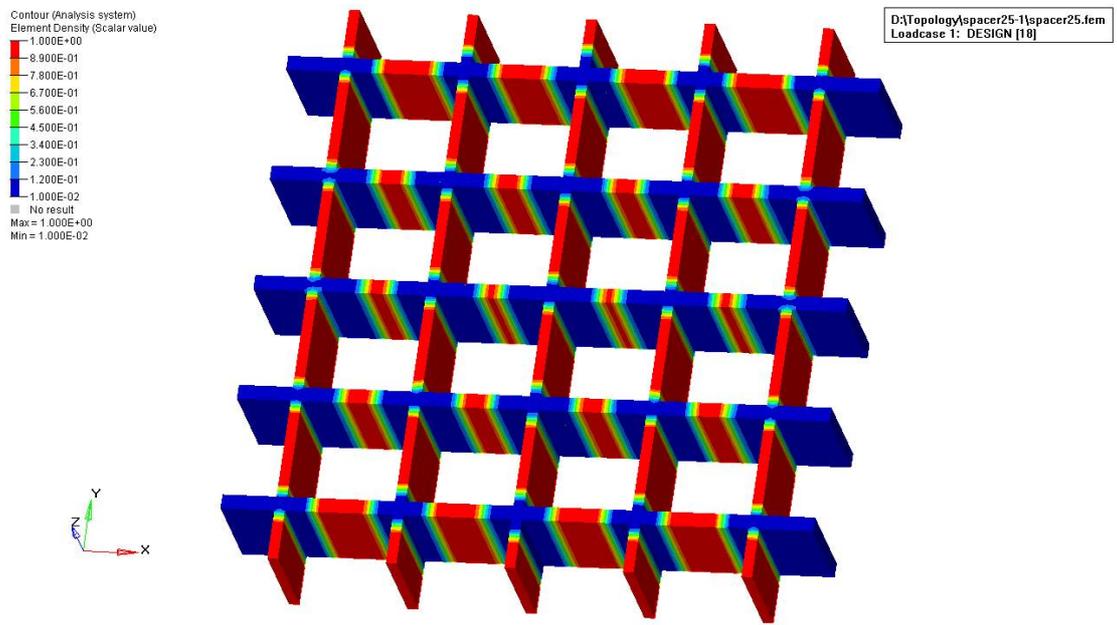


圖 5.41 25 個 Spacer 的模擬結果

Contour (Analysis system)  
 Element Density (Scalar value)

1.000E+00
8.906E-01
7.812E-01
6.719E-01
5.625E-01
4.531E-01
3.437E-01
2.344E-01
1.250E-01
1.561E-02
No result

Max = 1.000E+00  
 Min = 1.561E-02

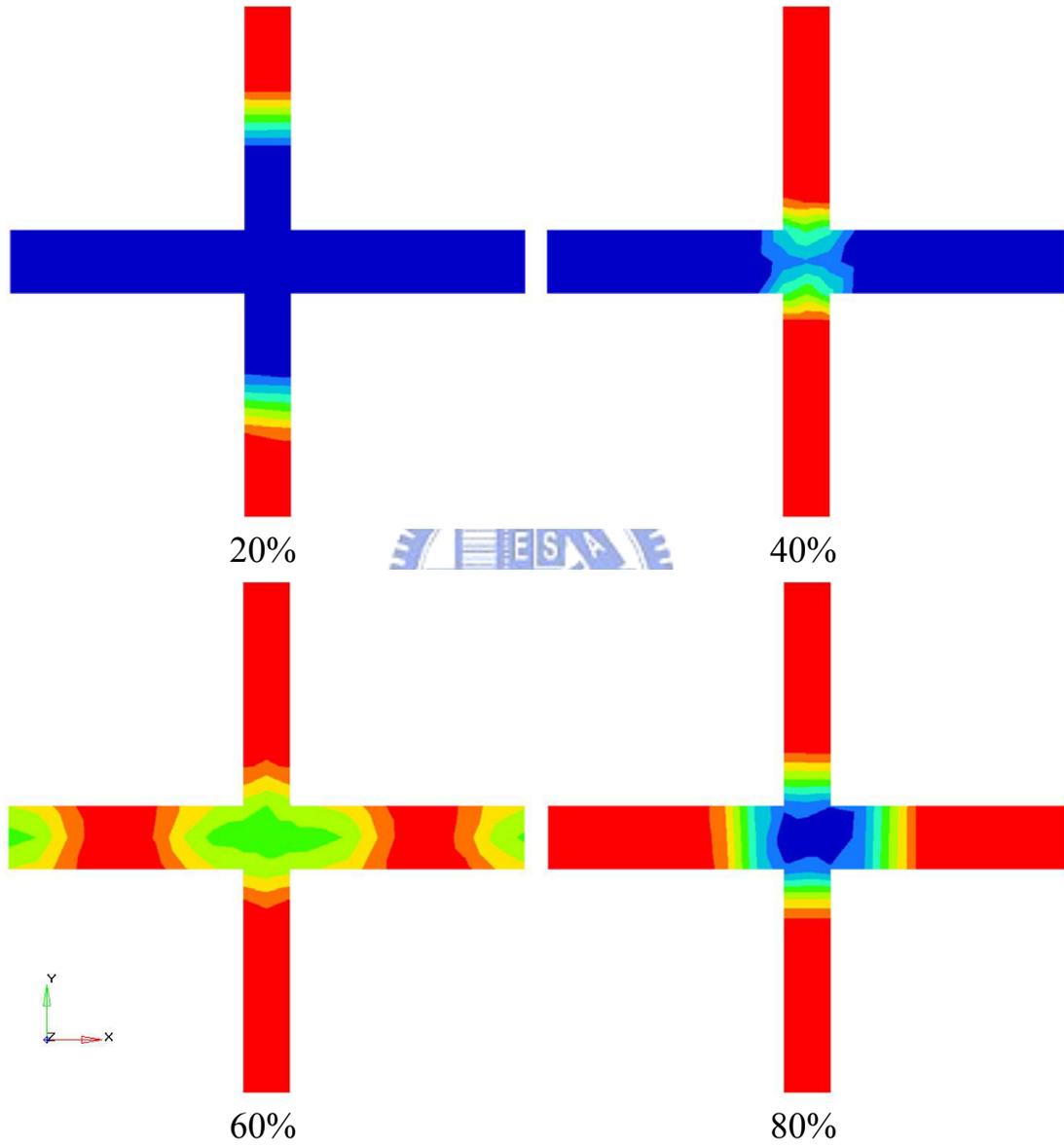


圖 5.42 不同體積上限的模擬結果

## 第六章 總結與未來展望

### 6.1 研究總結

CNT-FED 實現 CRT 平面化的可能性，不僅保留 CRT 的影像品質，並具有省電及體積薄小之優點，但在 CNT-FED 進行封裝時，常出現玻璃基板破裂的情形，因此針對此一問題進行研究，其目的在避免封裝過程中玻璃板破裂。

本文研究重點在於利用有限元素套裝軟體，對於 CNT-BLU 及 CNT-FED 的真空封裝過程進行模擬，並嘗試改變數個 Spacer 設計參數，以降低殘留應力的大小獲得較佳的設計條件。

經過以上的研究可以得到下列的結論：

1. 考慮玻璃粉層與不考慮玻璃粉層其模擬結果差異不大，因此玻璃粉層對整體應力在模擬時沒有很大的影響。
2. 面板燒結後，其殘留應力不大理論上不會產生破壞的情形，但因玻璃本身缺陷的影響，導致在燒結後偶有破壞的發生。
3. 單純就數值模擬的方面來看，熱膨脹係數的差異是影響最後殘留應力的重要因素。
4. 抽真空後，其 Spacer 上的最大應力值在 CNT-BLU 中約 25MPa。而 Soda-lime Glass 的平均破壞強度為 49.05MPa，所以在抽真空後 Spacer 上的安全係數僅有 2，因此在 Spacer 的部份很有可能會產生破壞，所以應考慮增加 Spacer 的個數或是增加其總支撐面積。

5. 若 CNT-FED 的 Spacer 擺設方式與截面積與 CNT-BLU 相同時，在抽真空後面板上最大應力值約 49MPa。在 Getter Box 下方增加一排 Spacer 則應力值可降至 34MPa。
6. 根據改變 Spacer 個數的結果來看，在總體積不變的情況下，增加 Spacer 的數量可以降低面板上的應力。
7. 增加 Spacer 的總體積能有效的降低 Spacer 上的應力。
8. 以相同體積不同外型的 Spacer 做比較，圓形的支撐效果最好，其次是方形的，十字型的最差。但在考慮面板 Pixel 間可以放置的範圍，十字型可容許的放置範圍會比方形的大上許多。
9. 從拓撲最佳化的結果可發現，可以考慮選擇長片狀的 Spacer。此外片狀的形式可避免掉擺放高數量 Spacer 的問題，降低擺放上困擾。



## 6.2 未來展望

本研究過程進行至現在，已經完成上述之成果，但仍有下列幾項問題尚待解決與改進：

1. 在 CNT-FED 的模擬研究中，因為 Spacer 尺寸與其他元件的差異過大，所需要的網格數過多，導致電腦無法負荷其計算量。因此，現階段尚未找出適合的 Spacer 最佳化設計。
2. 上述各項結論皆是由模擬的結果所推論出，並未考慮到材料成本的問題，但在真正製作的時候是需考慮到，選用材料所需花費的成本是否真的符合其價值。

3. 研究中所獲得的結果如 Spacer 的外形設計、擺放位置與擺放方式等等，在進行生產時需進一步考慮生產機台是否有能力完成。
4. 由於目前尚無 CNT-FED 的成品可進行驗證，未來將針對加入傳統 Spacer 的 CNT-FED 進行實驗與模擬結果的驗證。此外，本研究已完成了拓樸概念設計的 Spacer，後續需先完成 Spacer 尺寸最佳化的部份，再進行 Spacer 的生產並與實驗驗證。



## 參考文獻

- [1] A. G. Rinzler, J. H. Hafner, P. Nikolaev, L. Lou, S.G. Kim, D. Tománek, P. Nordlander, D. T. Colbert, and R.E. Smalley, “Unraveling Nanotubes: Field Emission from an Atomic Wire,” Science 269, 1550 , 1995.
- [2] 林佳慶，“渦卷式壓縮機渦卷之溫度與熱變形分析”，國立交通大學機械工程學系，碩士論文，民國九十一年。
- [3] 陳雅雯，“光學膜片紫外光固化轉寫成形之有限元素分析研究”，國立交通大學機械工程學系，碩士論文，民國九十二年。
- [4] 邱關明，黃良釗，玻璃形成學，兵器工業出版社，民國七十六年。
- [5] William D. Callister, Jr., Materials Science and Engineering, 5<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [6] Zarycki, J. Glasses and the Vitreous State, Cambridge University Press, 1990.
- [7] 陳建昌，“多階段拓樸最佳化設計”，國立中正大學機械工程研究所，碩士論文，民國九十一年。
- [8] 張祥唐，“拓樸最佳化設計方法在車架設計之研究”，國立成功大學機械工程學系，碩士論文，民國八十九年。
- [9] 許銘修，徐業良，“三維結構形式幾何最佳化與形態最佳化之整合”，中國機械工程學會第十七屆學術研討會，高雄、台灣，民國八十九年，pp.787-794.
- [10] Mlejnek, H. P., “Some Aspects of the Genesis of Structures,” Structural Optimization, 5, pp. 64-69, 1992.

## 附錄 A、光彈應力量測

在研究中為了對模擬的結果進行驗證，因此進行了面板燒結後的光彈應力量測，由於在進行光彈量測時，偏振光一次僅能量測一面玻璃，因此無法針對真正的 CNT-FED 面板進行量測。為了能順利的進行量測，僅利用單片玻璃與邊框燒結後的樣品進行實驗，其實際照片如圖 A.1。

對 10 吋的面板進行模擬分析，其條件皆與 3.2 節的初步模擬相同，模擬的結果如圖 A.2。

光彈量測是利用交通大學機械系齒輪實驗室的偏光彈性儀，量測結果如圖 A.3，從結果可看出在邊框轉角處有應力集中的現象，與模擬的結果相近，但由於儀器的關係無法很清楚的分辨出條紋。



圖 A.1 光彈量測用 10 吋面板

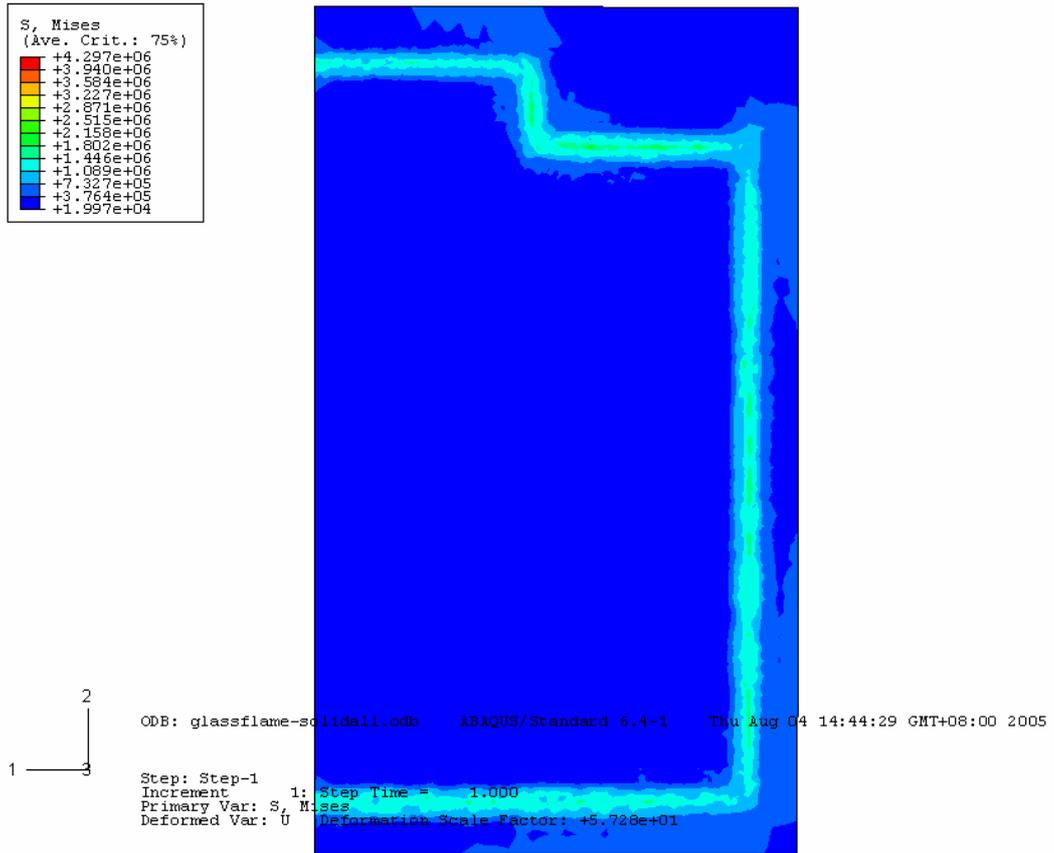


圖 A.2 光彈用 10 吋的面板模擬結果

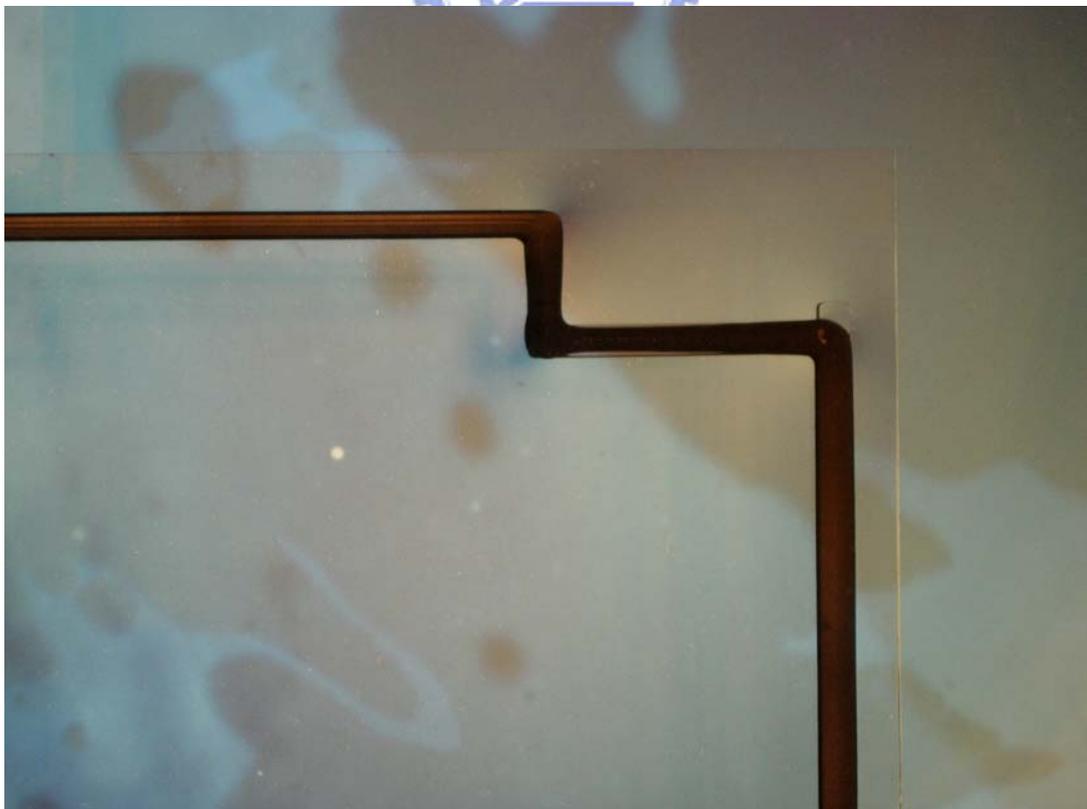


圖 A.3 光彈量測結果